

TUGAS AKHIR - TM 090340

RANCANG BANGUN PEMANAS AIR TENAGA SURYA DENGAN MENGGUNAKAN KOLEKTOR SURYA PLAT DATAR

TRI WIRADHANI
NRP 2108 030 020

Dosen Pembimbing
Ir. JOKO SARSETIYANTO, MT
NIP. 19610602 198701 1 001

PROGRAM STUDI DIPLOMA III
JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2012



TUGAS AKHIR - TM 090340

**RANCANG BANGUN PEMANAS AIR TENAGA
SURYA DENGAN MENGGUNAKAN KOLEKTOR
SURYA PLAT DATAR**

**TRI WIRADHANI
NRP 2108 030 020**

**Dosen Pembimbing
Ir. JOKO SARSETIYANTO, MT
NIP. 19610602 198701 1 001**

**Program Studi Diploma III Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2012**



FINAL PROJECT - TM 090340

DESIGN OF SOLAR WATER HEATER WITH FLAT PLATE SOLAR COLLECTOR

TRI WIRADHANI
NRP 2108 030 020

Consellor Lecturer
Ir. JOKO SARSETIYANTO, MT
NIP. 19610602 198701 1 001

Program Study Diploma III
Mechanical Engineering Of Department
Faculty Technology Industry
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2012

RANCANG BANGUN PEMANAS AIR TENAGA SURYA DENGAN MENGGUNAKAN KOLEKTOR SURYA PLAT DATAR

Nama Mahasiswa : TRI WIRADHANI
NRP : 2108 030 020
Jurusan : D3 Teknik Mesin FTI – ITS
Dosen Pembimbing : Ir. JOKO SARSETIYANTO, MT

Abstrak

Air hangat sangat diperlukan untuk keperluan mandi karena berguna untuk melancarkan metabolisme tubuh. Dengan adanya konversi fotothermal, energi dari radiasi sinar matahari dapat dimanfaatkan untuk sistem pemanas air yang dapat memenuhi kebutuhan mandi air hangat.

Sebuah kolektor surya plat datar digunakan untuk menyerap energi panas matahari dan kemudian diteruskan ke pipa yang dialiri air. Pipa dibuat dari bahan tembaga yang memiliki nilai konduktivitas sangat tinggi dengan diameter luar 5/8" (15,7 mm), diameter dalam 15 mm dan ketebalan pipa 0,7 mm. Plat kolektor pada alat ini menggunakan bahan dari Seng, karena seng merupakan penghantar panas yang memiliki konduktivitas yang cukup tinggi. Kolektor diletakkan di dalam kotak/box dengan dimensi kolektor, panjang 150 cm, lebar 50 cm dan tinggi 8 cm. Kolektor dibuat dari kayu dan dilapisi dengan bahan isolator yang dibuat dari bahan glass wool. Kolektor dibuat membentuk sudut kemiringan 10° dari bidang horisontal.

Panjang pipa kolektor yang dibutuhkan untuk memanaskan air dengan temperatur awal 27°C menjadi 35°C adalah 4,49 m dan dibentuk menjadi koil U-Tube sebanyak 10 lekukan.

Kata Kunci : Pemanas Air, Kolektor Surya plat datar.

DESIGN OF SOLAR WATER HEATER WITH FLAT PLATE SOLAR COLLECTOR

Name Of Student : TRI WIRADHANI
NRP : 2108 030 020
Department : D3 Teknik Mesin FTI – ITS
Consellor Lecturer : Ir. JOKO SARSETIYANTO, MT

Abstract

Warm water is needed for bathing purposes because it is useful to facilitate the body's metabolism. With the photothermal conversion, energy from solar radiation can be utilized for water heating systems that can meet the needs of a warm bath.

A flat plate solar collectors are used to absorb the sun's heat energy and then forwarded to the water flow inside pipe. Pipe made of copper which has very high conductivity values with outer diameter 5/8" (15.7 mm), diameter of the pipe is 15 mm and thickness of the pipe is 0.7 mm. Collector plate material made of zinc. Zinc is a conductor of heat which has a high conductivity. Collector is placed in a box with the dimensions: length of 150 cm, width of 50 cm, and a height of 8 cm. Collector is made of wood and coated with an insulating material made of glass wool. Collector placed on the ground with an angle of 10° upward.

The length of the collector pipe required to heat water with the initial temperature of 27 °C to 35 °C is 4.49 m and formed into 10 U-Tube coil.

Keywords: Water Heaters, Solar flat plate collectors

**RANCANG BANGUN PEMANAS AIR TENAGA
SURYA DENGAN MENGGUNAKAN KOLEKTOR
SURYA PLAT DATAR**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya Teknik Mesin
pada**

**Bidang Studi Teknik produksi
Program Studi Diploma III Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
SURABAYA**

Oleh :

TRI WIRADHANI

Nrp. 2108 030 020

Mengetahui / Menyetujui :

1. **Ir. Joko Sarsetiyanto, MT** (Dosen Pembimbing)

SURABAYA, JULI 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas ke hadirat ALLAH SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini yang berjudul:

"RANCANG BANGUN PEMANAS AIR TENAGA SURYA DENGAN MENGGUNAKAN KOLEKTOR SUURYA PLAT DATAR."

Dalam penyusunan tugas akhir ini bukan semata karena kemampuan penyusun, tapi juga karena adanya campur tangan berbagai pihak yang mau meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran dalam penyelesaian tugas akhir ini. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. **ALLAH SWT** dan junjungan besarku, **Nabi Muhammad SAW** yang telah memberikan rahmat dan ridho-Nya sehingga tugas akhir ini dapat terlaksana.
2. **Ayahanda dan Ibunda** tercinta serta **seluruh keluarga** tersayang, terima kasih atas doa, kasih sayang dan seluruh dukungannya
3. Bapak **Ir. Joko Sarsetyanto, MT**, selaku Dosen pembimbing yang telah membantu dalam bimbingan, saran, serta dukungan dalam penulisan laporan tugas akhir ini.
4. Bapak **Ir. Suhariyanto, MSc** selaku Koordinator Program Studi Diploma D3 Teknik Mesin FTI-ITS.
5. Ibu **Liza Rusdiyana, ST, MT**, selaku Koordinator tugas akhir Program Studi D-3 Teknik Mesin FTI-ITS.
6. Bapak **Ir. Syamsul Hadi, MT**, selaku dosen wali.
7. **Bapak/Ibu dosen, seluruh karyawan** program studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS yang telah banyak membimbing dan membantu selama perkuliahan

8. **Edo Wirapraja** selaku partner tugas akhir yang telah sangat banyak membantu.
9. **Teman-teman D3 Teknik Mesin Angkatan 2008** dikontrakan **Semolowaru Rizky Anggiansyah, Reza Hidayatullah, Novian Eka Purnama, Lukman Fajar Hidayat, Syaiful Rizal, Jun Dwiky Rahmanda, Angga Frediansyah, Bayu Priyo Jatmiko, Robby Abdillah, Andri, Lukita**, dan yang lainnya yang belum disebutkan yang telah memberikan banyak dukungan, motivasi dan pelajaran.
10. **Aldo Nur Satria beserta Teman-teman D3 Teknik Mesin Angkatan 2008** , terima kasih atas dukungan dan doanya.
11. **Teman-Teman D3 Teknik Mesin Angkatan 2009 dan 2010**, terima kasih atas bantuan dan doanya.
12. Serta semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari keterbatasan dan kekurangan, baik waktu, tenaga, pikiran dalam penyelesaian Tugas Akhir ini. Maka saran, kritik yang membangun dari pembaca sangat diharapkan oleh penulis untuk penyempurnaan karya ini.

Akhirnya besar harapan penulis semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dalam perkembangan teknologi di masa sekarang maupun masa mendatang.

Surabaya, Juni 2012

Penulis

DAFTAR ISI

COVER LUAR	
COVER DALAM	
LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II DASAR TEORI.....	7
2.1 Kajian Pustaka.....	7
2.2 Pengertian Perpindahan Panas	9
2.3 Kekekalan Energi	24
2.4 Proses Pemanasan Air	26
2.5 Geometri Radiasi Surya.....	28
2.6 Radiasi Luar Angkasa (extraterrestrial) Pada Permukaan Horisontal.....	32
2.7 Radiasi Surya Pada Permukaan Bumi	35
2.8 Komponen Radiasi Langsung dan Difuse	36
2.9 Radiasi Total Pada Permukaan Miring Tetap	37
2.10 Tinjauan Umum Kolektor Surya Pada Pemanas Air Tenaga Surya	39
2.11 Kolektor Surya Plat Datar.....	39

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	40
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	40
3.2 Kriteria Perencanaan.....	40
3.2.1 Kolektor Surya Plat Datar	40
3.2.2 Penampung Air	41
3.2.3 Pompa Air	42
3.3 Persiapan Awal.....	42
3.4 Prosedur Percobaan.....	43
3.4.1 Pengujian.....	43
3.4.2 Peralatan Penelitian	43
3.4.3 Tata Cara Pengujian.....	44
3.5 Diagram Alur Tugas Akhir	45
BAB IV ANALISA PERHITUNGAN.....	47
4.1 Data Penelitian.....	47
4.2 Data Awal Perencanaan	47
4.3 Analisa Intensitas Matahari	48
4.3.1 Analisa Sudut Jam Matahari.....	48
4.3.2 Analisa Sudut Datang Matahari.....	49
4.3.3 Sudut Datang Bidang Horizontal.....	50
4.3.4 Radiasi Matahari yang Diterima Kolektor.....	50
4.3.5 Intensitas Matahari Ekstraterestrial per Jam.....	51
4.3.6 Intensitas Matahari Langsung dan Difuse.....	52
4.3.7 Intensitas Matahari Total yang Diterima oleh Permukaan Bumi.....	53
4.3.8 Intensitas Radiasi Matahari yang Diterima Oleh Plat Absorber Kolektor.....	54
4.4 Perencanaan Kolektor Pemanas Air.....	55
4.4.1 Koefisien Perpindahan Panas Radiasi Dari Kaca ke Udara.....	55
4.4.2 Koefisien Perpindahan Panas Radiasi dari Plat ke Kaca	55
4.4.5 Perhitungan Koefisien Kehilangan Perpindahan Panas Total Pada Kolektor Surya	56
4.5 Perhitungan Energi Berguna.....	57
4.6 Perhitungan Panjang Pipa.....	57

4.7 Tabel Komponen Kolektor Surya	59
4.8 Gambar Rancang Bangun Alat Pemanas Air	59
4.8.1 Gambar Tiga Dimensi (3D)	59
4.8.2 Gambar Dua Dimensi (2D)	60
4.8.3 Keterangan Gambar	61
BAB V PENUTUP	62
5.1 Kesimpulan	62
5.2 Saran	63
DAFTAR PUSTAKA	64
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Tiga Metode Perpindahan Panas.....</i>	9
Gambar 2.2	<i>Perpindahan panas Konduksi.....</i>	10
Gambar 2.3	<i>Distribusi kecepatan dan temperatur.....</i>	11
Gambar 2.4	<i>Perpindahan panas konveksi.....</i>	16
Gambar 2.5	<i>Laju Perpindahan panas radiasi</i>	22
Gambar 2.6	<i>Perpindahan Panas antara konduksi dengan konveksi.....</i>	22
Gambar 2.7	<i>Perpindahan panas antara Konduksi, Konveksi dan Radiasi.....</i>	22
Gambar 2.8.	<i>Kekekalan energi volume atur.....</i>	24
Gambar 2.9	<i>Kekekalan energi permukaan sebuah media.....</i>	24
Gambar 2.10	<i>Sudut-sudut matahari pada permukaan</i>	28
Gambar 2.11	<i>Bagian Bumi yang memperlihatkan sudut.....</i>	30
Gambar 2.12	<i>Sifat Radiasi termal surya.....</i>	35
Gambar 2.13	<i>Penyerapan radiasi surya oleh plat Absorber.....</i>	41
Gambar 2.14	<i>Nilai Transmittansi Indeks Bias.....</i>	41
Gambar 3.1	<i>Kolektor Surya.....</i>	46
Gambar 3.2	<i>Penampung Air.....</i>	47
Gambar 3.3	<i>Pompa Air.....</i>	47
Gambar 3.4	<i>Pipa Tembaga.....</i>	49
Gambar 3.5	<i>Termometer.....</i>	49
Gambar 4.1	<i>Gambar 3D Alat Pemanas Air Dengan Menggunakan Kolektor Surya Plat Datar.....</i>	67
Gambar 4.2	<i>Gambar 2D Alat Pemanas Air Dengan Menggunakan Kolektor Surya Plat Datar.....</i>	68
Gambar 4.3	<i>Gambar 2D Meja Kolektor Pemanas Air</i>	68

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Deklinasi dan Nilai n Untuk Rata-rata Hari Dalam Bulan.....	29
Tabel 2.2 Radiasi Ekstraterrestrial Rata-Rata Bulanan.....	33
Tabel 4.1 Komponen Kolektor Surya.....	67

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi adalah masalah yang sangat penting untuk mendapatkan perhatian lebih. Energi fosil yang digunakan saat ini bergantung pada bahan bakar minyak, gas bumi, dan batu bara yang mempunyai kapasitas sangat terbatas. Bahan bakar fosil termasuk dalam sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui (*non renewable resources*) sehingga jika manusia terus mengeksplorasi secara terus - menerus bahan bakar fosil tersebut dalam jangka waktu tertentu akan habis digunakan. Sangat diperlukan sekali adanya suatu cara untuk dapat mengurangi penggunaan energi fosil tersebut dengan cara mencari energi alternatif sebagai pengganti energi fosil.

Salah satu cara untuk mengurangi hal tersebut adalah dengan mengganti energi yang tidak dapat terbarui tersebut dengan energi surya. Hal ini dikarenakan energi surya termasuk dalam energi yang dapat diperbaharui (*renewable resources*). Energi surya sangatlah ramah lingkungan dan juga termasuk energi yang hemat biaya dalam penggunaannya karena hanya memanfaatkan energi panas matahari yang tersedia secara gratis dan terus menerus.

Indonesia sebagai salah satu negara yang sangat strategis untuk melakukan berbagai hal dalam kekayaan alamnya yang agraris dan terletak pada garis khatulistiwa sehingga Indonesia mendapatkan energi matahari sepanjang tahun. Dalam hal ini dapat dikatakan bahwa energi matahari adalah energi yang sangat penting untuk melakukan berbagai hal sehingga dapat digunakan oleh masyarakat Indonesia pada umumnya.

Keunggulan utama energi surya dibanding bentuk energi dari bahan bakar fosil adalah penggunaannya yang aman, tidak menimbulkan polusi dalam pengoperasiannya, dapat digunakan

secara langsung maupun tidak langsung dan tidak akan pernah habis karena energi surya merupakan sumber energi sepanjang masa.

Dengan realita tersebut tentunya banyak peluang untuk memanfaatkan energi tersebut menjadi sumber tenaga suatu alat dan ada kemungkinan dapat dijadikan komoditas ekspor yang tentunya sangatlah menguntungkan bagi pelaku usaha dan negara sebagai sumber penghasilan devisa.

Pemanasan sendiri adalah suatu proses untuk meningkatkan temperatur dengan bantuan energi panas. Pemanasan juga merupakan proses pemindahan panas dan penguapan fluida secara simultan yang memerlukan energi panas untuk meningkatkan temperatur fluida yang dipindahkan/dialirkan dengan media bantuan alat/benda.

Proses memanaskan fluida bertujuan agar fluida tersebut dapat dimanfaatkan. Dalam pembahasan ini fluida yang menjadi benda pengujian adalah Air yang akan digunakan untuk keperluan rumah tangga. Untuk dapat secara langsung memanfaatkan energi radiasi matahari untuk memanaskan air dapat digunakan suatu perangkat yang dapat mengumpulkan energi matahari yang sampai ke permukaan bumi dan mengubahnya kembali menjadi energi kalor yang berguna. Perangkat ini disebut dengan ***kolektor surya***.

Ada beberapa macam tipe dari kolektor surya yang tentunya sesuai dengan kebutuhan. Salah satu tipe kolektor surya yang paling sering digunakan adalah kolektor surya plat datar. Untuk mendapatkan hasil pemanasan yang lebih maksimal, plat datar tersebut dicat dengan warna hitam kelabu yang berfungsi untuk menyerap radiasi surya yang dipancarkan oleh matahari. Untuk menjaga agar tidak terjadi kerugian panas secara radiasi dan konduksi ke atmosfer, maka digunakan kaca pelindung sehingga mengurangi terjadinya efek rumah kaca. Sedangkan bagian sisi kanan, kiri dan bawah kolektor surya dilapisi dengan glass wool sebagai bahan yang dapat mengisolasi terjadinya kebocoran panas yang dihasilkan oleh kolektor surya.

Sebagai titik awal dalam melakukan perhitungan untuk mendesain kolektor surya plat datar adalah memperhitungkan segi Luasan permukaan kolektor, kemiringan permukaan kolektor terhadap intensitas matahari radiasi langsung, efek thermosiphon pada pipa sirkulasi untuk menentukan sistem konveksi alami serta suhu masuk dan keluar pipa sirkulasi.

Prinsip kerja dari sistem pemanas air dengan menggunakan plat datar dapat menunjukkan bahwa air yang masuk ke dalam kolektor melalui pipa distribusi akan mendapatkan panas yang baik secara konduksi maupun radiasi sebagai akibat dari tertangkapnya sinar matahari didalam kolektor surya yang dibatasi oleh kaca bening tembus cahaya. Karena adanya perpindahan panas tersebut maka suhu air yang mengalir didalam pipa kolektor secara langsung akan bertambah, bertambahnya suhu air yang mengalir didalam pipa tersebut mengakibatkan adanya perbedaan massa jenis air. Dimana air yang bersuhu lebih tinggi memiliki massa jenis yang lebih kecil, sehingga cenderung mengalir ke arah yang lebih tinggi. Sebaliknya air yang mengalir dalam pipa kolektor memiliki suhu yang lebih rendah memiliki massa jenis yang lebih besar dan akan bergerak turun, sehingga terjadi peristiwa konveksi secara alami.

1.2 Rumusan Masalah

Pada penelitian ini peneliti memiliki beberapa masalah yang dapat diangkat dalam pembahasan kali ini, yaitu :

- a. Bagaimana cara membuat alat pemanas air tanpa menggunakan energi yang tidak terbarukan (bahan bakar fosil) dan diganti dengan energi terbarukan (tenaga surya)?
- b. Bagaimana mendesain sistem pemanas yang efektif dan efisien untuk temperatur keluar air yang diinginkan dan ideal untuk mandi sebesar $32-35^{\circ}\text{C}$?

1.3 Batasan Masalah

Dalam Tugas Akhir ini, penulis mengambil batasan-batasan untuk memperjelas ruang lingkup permasalahan.

1. Sumber energi panas untuk memanaskan adalah murni dari matahari. Oleh karena itu sifat sumber panas adalah tidak konstan, tergantung oleh cuaca.
2. Perpindahan panas pada dinding pemanas kolektor surya seragam serta perpindahan aliran steady state.
3. Pesawat pengumpul panas yang digunakan adalah kolektor surya plat datar.
4. Bahan yang diteliti sebagai bahan eksperimen pada perancangan ini adalah air.
5. Rancang bangun atau alat dibuat miniatur dengan kapasitas air yang dipanaskan adalah 75 Liter dan Kapasitas Pompa yang tersedia adalah 1000 Liter/Jam.
6. Penggunaan sistem sesederhana mungkin dan terdapat bahan Isolator pada sekeliling dan bagian bawah kolektor surya sehingga panas tidak keluar dari dalam kolektor.
7. Panas yang diterima oleh permukaan atas pipa sama dengan yang diterima oleh permukaan bawah pipa, hal ini dikarenakan adanya efek reflektivitas yang diterima oleh plat (absorber).
8. Data klimatologi yang digunakan untuk perancangan terbatas di Surabaya.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menemukan desain Rancang bangun pemanas air dengan bantuan kolektor surya yang baik dan efisien yang digunakan untuk mandi air hangat dengan temperatur ideal untuk mandi air hangat.
2. Mengetahui perhitungan desain dari rancang bangun pemanas air kolektor surya plat datar.

3. Dapat dikembangkan dan dimanfaatkan dalam skala rumah tangga.
4. Mengurangi penggunaan Energi tidak terbarukan (bahan bakar minyak) pada saat proses pemanasan dengan cara menggunakan energi terbaru (Energi Surya).

1.5 Manfaat Penelitian

1. Mengurangi penggunaan energi tidak terbarukan (bahan bakar minyak) pada saat proses pemanasan air.
2. Air yang dipanaskan dapat digunakan untuk mandi air hangat dengan temperatur ideal untuk mandi.
3. Alat yang didesain dapat digunakan masyarakat skala rumah tangga dengan biaya pembuatan yang relatif lebih murah.

1.6 Sistematika Penulisan

Bab I PENDAHULUAN

Pada Bab Pendahuluan berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, pembatasan masalah dan sistematika penulisan.

Bab II DASAR TEORI

Bab ini memuat ilmu-ilmu dasar yang berhubungan dengan teknologi thermal matahari yaitu teori pemanasan, perpindahan panas, radiasi matahari, kolektor surya plat datar dan tinjauan ilmu mekanika fluida.

Bab III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini memuat prosedur percobaan yang dilakukan untuk penelitian ini, serta analisa dari berbagai data yang diperoleh selama melaksanakan percobaan dan memuat desain pemanas air tenaga surya beserta cara kerjanya.

Bab IV PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

Memuat perhitungan dan pembahasan hasil pengujian alat pemanas air dengan kolektor surya plat datar yang didahului dengan analisa perhitungan intensitas matahari.

Bab V PENUTUP

Pada Bab Akhir ini memuat kesimpulan dan saran yang didapat dari seluruh pengerjaan Tugas Akhir ini.

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Kajian Pustaka

Bumi sebagai planet yang paling dekat urutan ke-3 dengan Matahari, yaitu berjarak 150.000.000 km, sangatlah alami jika hanya pancaran energi Matahari yang mempengaruhi dinamika atmosfer dan kehidupan di Bumi. Energi ini kemudian ditransformasikan menjadi bermacam-macam bentuk energi, misalkan pemanasan permukaan bumi, gerak dan pemanasan atmosfer, gelombang lautan, foto sintesa tanaman dan reaksi foto kimia lainnya.

Penyebaran sinar matahari tiap tahun di belahan bumi bervariasi termasuk di Indonesia. Indonesia rata-rata menerima sinar matahari 8 (delapan) jam per hari. Oleh karena itu, penulis mencoba untuk merancang sebuah alat yang dapat digunakan masyarakat dengan pemanfaatan energi surya untuk memanaskan air untuk keperluan mandi.

Beberapa penelitian terdahulu terkait dengan penggunaan kolektor surya sebagai alat pemanas air tenaga matahari adalah sebagai berikut:

2.1.1. Reza Ardiasyah (2010)

Koefisien perpindahan panas total menunjukkan peningkatan seiring dengan meningkatnya intensitas radiasi matahari. Dan dengan bertambahnya kecepatan fluida kerja, maka koefisien koefisien perpindahan panas total juga akan mengalami peningkatan sebagai efek dari kenaikan nilai perpindahan panas konveksi antara pelat absorber dengan fluida kerja dan perpindahan panas konveksi antara fluida kerja dengan insulasi.

2.1.2. Puji Astuti (2010)

Semakin besar luas permukaan kolektor maka semakin banyak radiasi sinar matahari yang ditangkap dan diserap oleh absorber, sehingga temperatur air yang dialirkan kedalam pipa tembaga yang berada di kolektor surya semakin cepat meningkat.

2.1.3. Nesten R Marbun (2010)

Beberapa faktor yang menjadi pertimbangan pada saat proses pemanasan air. Panas yang diterima oleh plat kolektor, seperti pada bagian badan kerangka banyak sekali terdapat celah dan lubang-lubang kecil, sehingga radiasi matahari yang dipantulkan oleh kaca kembali ke penutup plat kolektor dan dapat berkurang sehingga panas air yang diharapkan dapat membuat tidak sempurna.

2.1.4. Moharto, Ana Dwi Astuti dan Veny Luvita (2004)

Efisiensi kolektor surya dipengaruhi oleh intensitas sinar surya, luas dan jenis plat penyerap. Alumunium adalah bahan terbaik untuk digunakan sebagai plat datar kolektor surya dibandingkan dengan besi dan seng, namun perubahan cuaca akan berpengaruh terhadap unjuk kerja almunium dibandingkan dengan besi dan seng yang mempunyai unjuk kerja temperatur yang stabil. Dan jika tambahan energi panas yang didapat lebih besar daripada kenaikan energi yang didapatkan hal tersebut dapat menurunkan efisiensi sistem pada saat proses pemanasan air.

2.1.5. Rahardjo Tirtoatmodjo dan Ekadewi Anggraini Handoyo (2002)

Suatu proses penyerapan panas yang baik untuk diterima plat kolektor adalah dengan jarak 20 mm, dan jenis

kaca yang digunakan jenis kaca bening dengan ketebalan 3 mm. Temperatur dan kecepatan angin disekitar lingkungan tidak mempengaruhi panas yang diterima oleh kolektor surya.

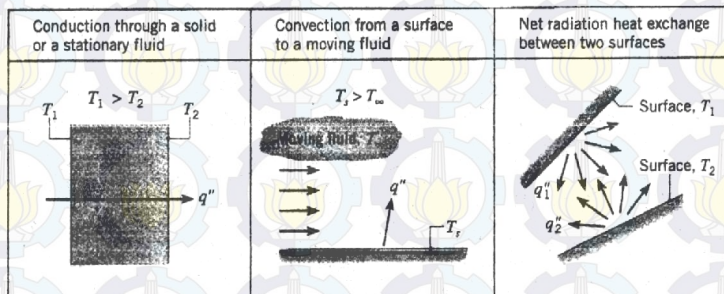
2.1.6. Aldo Nursatria (2011)

Hasil penelitian pada sudut kemiringan kolektor surya 10° menunjukkan bahwa energi yang berguna (Q_u) maupun energi yang tersimpan (Q_{st}) yang diterima oleh kolektor surya cukup tinggi pada saat pemanasan.

2.2. Pengertian Perpindahan Panas

Suatu proses perpindahan panas akan terjadi apabila dua media yang mempunyai perbedaan temperatur, dimana panas akan berpindah dari media yang mempunyai temperatur tinggi menuju media yang bertemperatur rendah. Mekanisme dari proses tersebut dapat dibagi dalam tiga kelompok, yaitu:

1. Konduksi
2. Konveksi
3. Radiasi



Gambar 2.1. Tiga metode perpindahan panas yang berlangsung secara konduksi, konveksi, dan radiasi.

2.2.1 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah suatu mekanisme perubahan energi dari suatu benda ke benda yang lain yang disebabkan adanya gerakan random dari molekul, bagian yang bertemperatur lebih tinggi atau yang memiliki energi yang lebih besar akan mengalirkan energinya ke bagian yang bertemperatur lebih rendah atau yang memiliki energi yang lebih kecil. Dalam beberapa hal proses perpindahan panas secara konduksi bisa terjadi pada bentuk:

- Dinding datar

Laju perpindahan panas konduksi yang sesuai dengan hukum Fourier untuk bidang datar satu dimensi dan memiliki distribusi temperatur $T(x)$ dinyatakan:

$$q_x = -KA \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots(2.1)$$

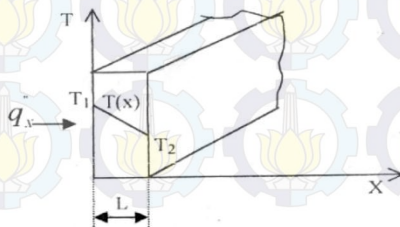
Dimana:

q_x = laju perpindahan panas, (W)

dT/dx = gradien temperatur, $\left(\frac{^{\circ}K}{m}\right)$

K = koefisien konduksi bahan, $\left(\frac{W}{m^{\circ}K}\right)$

A = luas permukaan bahan, (m^2)



Gambar 2.2 *Perpindahan panas konduksi pada dinding datar*

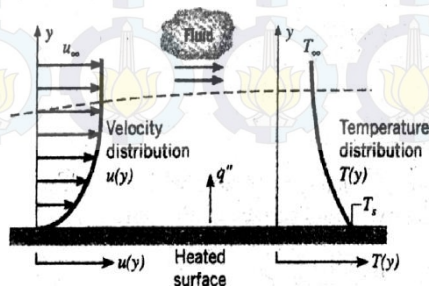
Jika distribusi temperatur sepanjang L seperti pada gambar di atas adalah linier, maka laju perpindahan panas dapat dinyatakan sebagai:

$$q_x = -KA \frac{T_2 - T_1}{L} = -KA \frac{\Delta T}{\Delta x} \dots\dots\dots(2.2)$$

Tanda (-) merupakan panas yang berpindah searah dengan penurunan temperatur/kalor yang mengalir ke tempat yang lebih rendah dalam skala suhu.

2.2.2. Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi terdiri dari dua mekanisme yaitu perpindahan energi yang disebabkan gerakan random molekul (*difusi*) dan gerakan makroskopis fluida di dalam lapisan batas (*boundary layer*). Perpindahan panas konveksi bergantung pada viskositas fluida dan sifat – sifat thermal fluida, seperti konduktivitas thermal, kalor spesifik, dan density. Viskositas fluida akan mempengaruhi profil kecepatan aliran di mana fluida yang viskositasnya besar profil kecepatan aliran akan berbentuk relatif tumpul jika dibandingkan dengan fluida yang viskositasnya kecil. Hal ini disebabkan oleh gaya geser yang terjadi. Makin besar viskositasnya makin besar pula gaya gesernya. Semakin besar kecepatan aliran maka semakin besar gradien temperatur sehingga panas yang dibawa tersebut akan semakin besar pula.



Gambar 2.3 Distribusi kecepatan dan distribusi temperatur

Ditinjau dari gerakan fluidanya perpindahan panas konveksi secara umum dibedakan menjadi dua yaitu:

a. Konveksi paksa

Disebut konveksi paksa (*forced convection*) apabila aliran yang terjadi ditimbulkan oleh beberapa peralatan bantu seperti blower, pompa, kompresor, dan lain – lain.

b. Konveksi alamiah atau disebut juga konveksi bebas (*natural convection*)

Konveksi alamiah (*natural convection*) adalah aliran fluida yang terjadi semata – mata karena adanya perbedaan massa jenis fluida yang disebabkan oleh perbedaan temperatur. Korelasi konveksi alamiah atau konveksi bahan ada dua yaitu:

o Korelasi pada plat vertical

Apabila plat itu dipanaskan, terbentuklah suatu lapisan batas konveksi bebas. Pada dinding kecepatan adalah nol, karena terdapat kondisi tanpa gelincir (*no slip*), kecepatan itu bertambah terus sampai mencapai nilai maksimum, dan kemudian menurun lagi hingga nol pada tepi lapisan batas, karena kondisi arus bebas (*free stream*) tidak ada pada sistem konveksi bebas. Perkembangan awal lapisan batas adalah laminar, tetapi pada sifat – sifat fluida dan beda suhu antara dinding dan lingkungan, terbentuklah pusaran – pusaran dari transisi ke lapisan turbulen.

Pada sistem konveksi bebas dapat dijumpai bilangan tak berdimensi yang disebut bilangan *Grashof* (*G*)

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dan Rayleigh Number (Ra_L)

$$Ra_L = Gr_L Pr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

Pr = bilangan Prandtl

g = percepatan gravitasi, $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

L = panjang karakteristik, (m)

ν = viskositas kinematik, $\left(\frac{m^2}{s}\right)$

β = koefisien ekspansi volume $\left(\frac{1}{T_f}\right)$, (K^{-1})

α = difusivitas termal, $\left(\frac{m^2}{s}\right)$

Dimana semua properties dievaluasi pada temperatur film (T_f).

Untuk menganalisa konveksi bebas pada plat datar harus ditentukan dulu harga koefisien perpindahan panas konveksi dan *Nusselt Number*.

- Untuk aliran laminar: $10^{-1} < Ra_L < 10^9$

$$Nu_L = 0,68 + \frac{0,67 Ra_L^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + (0,492 / Pr)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}} \dots\dots\dots(2.5)$$

- Untuk aliran turbulen: $10^{-1} < Ra_L < 10^{12}$

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + (0,492 / Pr)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \dots (2.6)$$

Sehingga:

$$h = \frac{\overline{Nu}_L k}{L} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana:

h = koefisien perpindahan panas konveksi

$$\left(\frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K} \right)$$

\overline{Nu}_L = Nusselt Number

k = konduktifitas termal, $\left(\frac{W}{m \text{ } ^\circ K} \right)$

L = tinggi dinding, (m)

○ Korelasi pada plat horizontal

Number rata – rata untuk konveksi bebas tergantung pada apakah permukaan plat panas menghadap ke atas (*hot surface facing up*) atau menghadap ke bawah (*hot surface facing down*) dan apakah permukaan plat lebih panas atau lebih dingin daripada fluida di sekitarnya.

- Untuk plat horizontal dengan permukaan panas menghadap ke atas (*hot surface facing up*)

$$1. \overline{Nu}_L = 0,54 Ra_L^{\frac{1}{4}}, (10^4 \leq Ra_L \leq 10^7) \dots (2.8)$$

$$2. \overline{Nu_L} = 0.15 Ra_L^{\frac{1}{3}}, (10^7 \leq Ra_L \leq 10^{11}) \dots (2.9)$$

- Untuk plat horizontal dengan permukaan panas menghadap ke bawah (*hot surface facing down*)

$$\overline{Nu_L} = 0.27 Ra_L^{\frac{1}{4}}, (10^5 \leq Ra_L \leq 10^{10}) \dots (2.10)$$

Sehingga:

$$h = \frac{\overline{Nu_L} k}{L} \dots (2.11)$$

Dimana:

h = koefisien perpindahan panas konveksi,

$$\left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$$

$\overline{Nu_L}$ = Nusselt Number

k = konduktivitas termal, $\left(\frac{W}{m \cdot K} \right)$

L = panjang karakteristik, (m)

Panjang karakteristik pada plat horizontal dapat diambil sebagai panjang sisi untuk persegi, setengah lebar plat untuk plat persegi panjang dan 0,9 D untuk cakram bola dengan diameter D.

$$L = \frac{A}{P} = \frac{w}{2} \dots (2.12)$$

Dimana:

L = panjang karakteristik, (m)

A = luas permukaan plat, (m^2)

P = keliling plat (perimeter), (m)

w = lebar dinding, (m)

Laju perpindahan panas konveksi dicari dengan hukum pendinginan Newton, yaitu:

$$q = hA(T_w - T_\infty) \quad (2.13)$$

Dimana:

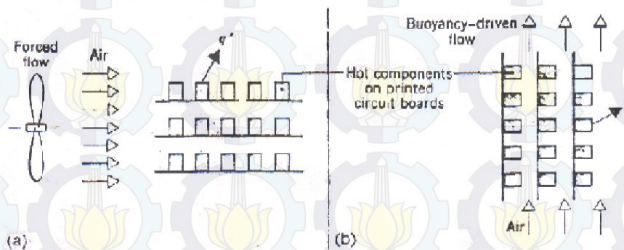
q = laju perpindahan panas konveksi, (W)

h = koefisien perpindahan panas konveksi,

$$\left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right)$$

T_w = temperatur permukaan, ($^\circ C$)

T_∞ = temperatur fluida, ($^\circ C$)



Gambar 2.4 Perpindahan panas konveksi

a. konveksi paksa

b. konveksi alamiah

Dalam analisis perpindahan panas konveksi maka faktor utama yang harus ditentukan: koefisien perpindahan panas konveksi akan bergantung dari medan aliran yaitu

bilangan Reynold (Re) dan bilangan Prandtl (Pr) selain dari bentuk lintasannya.

Bilangan Reynold (Re) merupakan suatu perbandingan antara gaya inersia dengan gaya gesek dari fluida tersebut yang besarnya adalah:

$$Re = \frac{VL}{\nu} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana:

V = kecepatan fluida, $\left(\frac{m}{s}\right)$

L = panjang lintasan, (m)

ν = viskositas kinematik, $\left(\frac{m^2}{s}\right)$

Bilangan Prandtl (Pr) adalah suatu parameter yang menunjukkan perbandingan antara viskositas kinematik dan difusifitas termal dari fluida. Viskositas kinematik fluida memberikan informasi tentang laju difusi momentum dalam fluida karena gerak molekul, difusi termal memberikan informasi tentang hal yang serupa mengenai difusi panas dalam fluida. Jadi perbandingan antara kedua kuantitas itu menunjukkan besaran relatif antara difusi momentum dan difusi kalor di dalam fluida. Besarnya bilangan Prandtl adalah:

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu}{\rho} \frac{\rho C_p}{k} = \frac{C_p \mu}{k} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana:

ν = viskositas kinematik, $\left(\frac{m^2}{s}\right)$

Cp = kapasitas panas, $\left(\frac{J}{kg^\circ K}\right)$

ρ = density fluida, $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

k = konduktivitas panas fluida, $\left(\frac{W}{m^\circ K}\right)$

μ = viskositas dinamik, $\left(\frac{kg}{s.m}\right)$

Untuk menentukan koefisien perpindahan panas konveksi digunakan bilangan Nusselt yang didapat dari percobaan/analisis. Bilangan Nusselt didefinisikan sebagai:

$$\overline{Nu}_L = \frac{\bar{h}L}{Kf} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana:

\overline{Nu}_L = bilangan Nusselt.

\bar{h} = koefisien perpindahan panas konveksi,
 $\left(\frac{W}{m^2^\circ K}\right)$

Kf = konduktivitas fluida, $\left(\frac{W}{m^\circ K}\right)$

Bilangan Nusselt merupakan fungsi dari medan aliran yaitu bilangan Reynold (Re) dan bilangan Prandtl (Pr). Hubungan antara \overline{Nu}_L dengan Re dan Pr tergantung dari bentuk aliran dan lintasan.

Hubungan ini biasanya didapat dengan percobaan, misalnya:

- Untuk aliran laminar melintasi plat datar

$$\overline{Nu}_L = 0,664 Re^{\frac{1}{2}} \times Pr^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(2.17)$$

- Untuk aliran turbulen melintasi plat datar

$$\overline{Nu}_L = 0,0296 Re^{\frac{4}{5}} \times Pr^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(2.18)$$

Keanalogisan antara perpindahan panas konveksi dan perpindahan massa konveksi menjadikan parameter – parameter untuk menghitung koefisien perpindahan panas konveksi serupa dengan parameter – parameter untuk menghitung perpindahan massa konveksi.

Bilangan Sherwood didefinisikan sebagai:

$$\overline{S}_{hl} = \frac{\overline{h}mL}{D_{AB}} \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana:

\overline{S}_{hl} = bilangan Sherwood.

$\overline{h}m$ = koefisien perpindahan panas konveksi, $\left(\frac{m}{s} \right)$

L = panjang karakteristik, (m)

D_{AB} = difusifitas massa fluida, $\left(\frac{m^2}{s} \right)$

Bilangan Sherwood merupakan fungsi dari medan aliran yaitu bilangan Reynold (Re) dan bilangan Schmidt (Sc).

- Untuk aliran laminar melintasi plat datar

$$\overline{S}_{hl} = 0,664 Re^{\frac{1}{2}} \times Sc^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(2.20)$$

- Untuk aliran turbulen melintasi plat datar

$$\overline{S}_{hl} = 0,0296 Re^{\frac{4}{5}} \times Sc^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(2.21)$$

2.2.3. Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas radiasi disebabkan karena adanya pancaran energi (radiasi elektromagnetik) oleh suatu benda karena temperaturnya. Perpindahan panas radiasi terjadi tanpa melalui suatu media perantara dan perpindahan panas ini dapat terjadi pada ruang hampa (*vakum*).

Stefan – Boltzman telah menyatakan besarnya radiasi maksimum yang dapat dipancarkan oleh suatu permukaan benda hitam (*black body*), yaitu:

$$q'' = \sigma \times T_s^4 \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana:

$$q'' = \text{panas maksimum yang diradiasikan, } \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

$$\sigma = \text{konstanta Boltzman, } \left(5,678 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} \right)$$

$$T_s = \text{temperatur permukaan, } (^{\circ}C)$$

Radiasi yang dipancarkan oleh suatu permukaan nyata (*real*) akan lebih kecil dari persamaan di atas, karena itu untuk permukaan nyata harus dikalikan dengan suatu factor yang disebut *emisivitas* (ϵ).

Sehingga panas yang diradiasikan adalah:

$$q'' = \epsilon \sigma T_s^4 \dots\dots\dots (2.23)$$

Dimana:

$$q'' = \text{panas nyata yang diradiasikan per satuan luas permukaan, } \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

ϵ = emisivitas fluida

Radiasi panas yang terjadi antara permukaan dengan sekeliling (*surrounding*) yang dipisahkan oleh gas yang tidak mempunyai efek terhadap perpindahan panas radiasi, sering dijumpai dalam praktek dan besarnya yang dipancarkan adalah:

$$q'' = \varepsilon \sigma A (T_s^4 - T_{sur}^4) \dots \dots \dots (2.24)$$

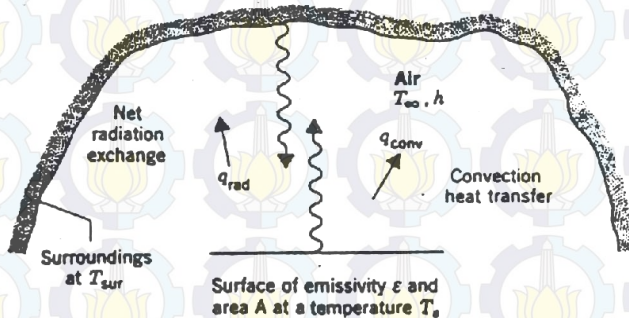
Dimana:

q'' = laju perpindahan panas radiasi, (W)

ε = emisivitas permukaan

σ = konstanta Boltzman, $\left(5,678 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} \right)$

A = luas permukaan, (m^2)

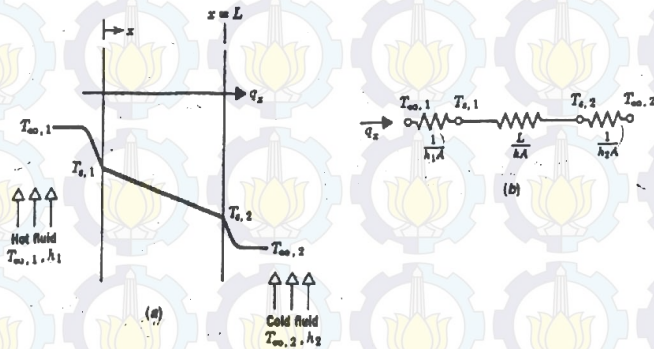


Gambar 2.5 Laju perpindahan panas radiasi oleh suatu permukaan dengan sekeliling

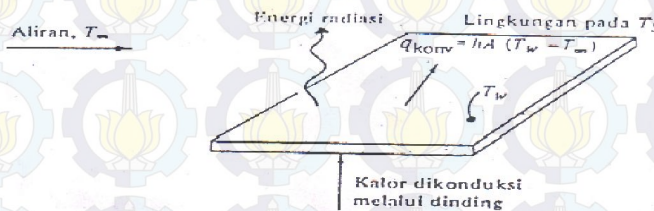
2.2.4. Perpindahan Panas Gabungan

Di dalam praktek perpindahan panas yang terjadi tidak hanya dalam satu mekanisme saja melainkan terjadi secara gabungan antara konduksi, konveksi, dan radiasi maupun ketiga mekanisme tersebut.

Perpindahan panas gabungan antara konduksi dengan konveksi seperti gambar di bawah ini akan lebih mudah menentukannya jika dengan menggunakan metode *thermal resistant* (R). Karena dengan tanpa mengetahui temperatur permukaan benda ($T_{s,1}$ dan $T_{s,2}$) besarnya perpindahan panas dapat diketahui.



Gambar 2.6 Perpindahan panas antara konduksi dengan konveksi a. Distribusi temperatur b. Sirkuit thermal equivalent



Gambar 2.7 Perpindahan Panas antara Konduksi, Konveksi, dan Radiasi

Maka laju perpindahan panas:

$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,2}}{R_{tot}} \dots \dots \dots (2.25)$$

$$R_{tot} = \frac{1}{h_1 A} + \frac{1}{KA} + \frac{1}{h_2 A} \dots\dots\dots(2.26)$$

Dimana:

$$R_{tot} = \text{tahanan total panas, } \left(\frac{^{\circ}K}{W} \right)$$

$$T_{\infty,1} = \text{temperatur fluida 1, } (^{\circ}C)$$

$$T_{\infty,2} = \text{temperatur fluida 2, } (^{\circ}C)$$

$$h_1 = \text{koefisien konveksi fluida 1, } \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}K} \right)$$

$$h_2 = \text{koefisien konveksi fluida 2, } \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}K} \right)$$

$$A = \text{luas permukaan perpindahan panas, } (m^2)$$

2.2.5. Kalor Spesifik

Kalor spesifik dari suatu bahan baker adalah jumlah energi yang diperlukan untuk menaikkan suhu satuan massa bahan tersebut sebesar $1^{\circ}K$. Dua besaran yang umum adalah kalor spesifik pada volume tetap (cv) dan kalor spesifik pada tekanan konstan (cp). Besaran yang kedua banyak dipakai pada proses pemanasan dan pendinginan.

2.3. Kekekalan Energi

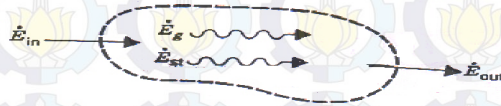
Analisis perpindahan panas merupakan perluasan dari termodinamika yang memperhatikan laju perpindahan energi. Selanjutnya dalam menganalisis perpindahan panas Hukum I Termodinamika (hukum kekekalan energi) memegang peranan penting dalam melakukan analisis.

2.3.1. Kekekalan Energi Volume Atur

Dalam menganalisis perpindahan panas perlu melakukan identifikasi volume atur yaitu melakukan

pembatasan terhadap daerah yang dilalui energi/material dengan mengacu pada hukum I termodinamika, maka kekekalan energi volume atur dapat didefinisikan sebagai:

Laju energi termal dan mekanika yang memasuki volume atur dikurangi dengan laju energi yang meninggalkan volume atur sama dengan energi yang tersimpan di dalam volume atur.



Gambar 2.8 Kekekalan energi volume atur

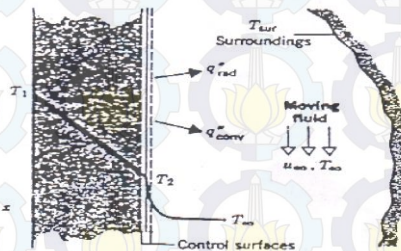
Notasi untuk energi yang masuk meninggalkan volume atur adalah E_{st} . Bentuk umum dari kekekalan energi dapat dinyatakan:

$$E_{in} + E_g - E_{out} = E_{st} \dots\dots\dots(2.27)$$

2.3.2. Kesetimbangan Energi Permukaan

Pada kasus khusus dimana permukaan atur tidak mempunyai massa/volume dan tidak berhubungan dengan energi bangkitan, serta syarat kekekalan energi berlaku untuk keadaan tunak (*steady state*) dan kondisi transisi (*transient*), maka:

$$E_{in} = E_{out} \dots\dots\dots(2.28)$$



Gambar 2.9 Kekekalan energi permukaan sebuah media

Pada gambar di atas ditunjukkan tiga bentuk perpindahan panas permukaan atur dengan basis per satuan luas. Ketiga bentuk tersebut adalah konduksi dari media ke permukaan luar, konveksi dari permukaan ke fluida, dan pertukaran radiasi netto dari permukaan ke sekeliling. Sehingga kesetimbangan energi gambar di atas:

$$q''_{\text{konduksi}} - q''_{\text{konveksi}} - q''_{\text{radiasi}} = 0 \dots\dots\dots (2.29)$$

2.4. Proses Pemanasan Air.

Pemanasan sendiri adalah suatu proses untuk meningkatkan temperatur dengan bantuan energi panas. Pemanasan juga merupakan proses pemindahan panas dan penguapan fluida secara simultan yang memerlukan energi panas untuk meningkatkan temperatur fluida yang dipindahkan/dialirkan dengan media bantuan alat/benda.

Dasar proses pemanasan Air sendiri adalah yang berfungsi untuk menyerap radiasi surya yang dipancarkan oleh matahari. Untuk menjaga agar tidak terjadi kerugian panas secara radiasi dan konduksi ke atmosfer, maka digunakan kaca pelindung sehingga mengurangi terjadinya efek rumah kaca. Sedangkan bagian sisi kanan, kiri dan bawah kolektor surya dilapisi dengan glass wool sebagai bahan yang dapat mengisolasi terjadinya kebocoran panas yang dihasilkan oleh kolektor surya.

Sebagai titik awal dalam melakukan perhitungan untuk mendesain kolektor surya plat datar adalah memperhitungkan segi Luasan permukaan kolektor, kemiringan permukaan kolektor terhadap intensitas matahari radiasi langsung, efek thermosiphon pada pipa sirkulasi untuk menentukan sistem konveksi alami serta suhu masuk dan keluar pipa sirkulasi.

Prinsip kerja dari sistem pemanas air dengan menggunakan plat datar dapat menunjukkan bahwa air yang masuk ke dalam kolektor melalui pipa distribusi akan

mendapatkan panas yang baik secara konduksi maupun radiasi sebagai akibat dari tertangkapnya sinar matahari didalam kolektor surya yang dibatasi oleh kaca bening tembus cahaya. Karena adanya perpindahan panas tersebut maka suhu air yang mengalir didalam pipa kolektor secara langsung akan bertambah, bertambahnya suhu air yang mengalir didalam pipa tersebut mengakibatkan adanya perbedaan massa jenis air. Dimana air yang bersuhu lebih tinggi memiliki massa jenis yang lebih kecil, sehingga cenderung mengalir ke arah yang lebih tinggi. Sebaliknya air yang mengalir dalam pipa kolektor memiliki suhu yang lebih rendah memiliki massa jenis yang lebih besar dan akan bergerak turun, sehingga terjadi peristiwa konveksi secara alami.

Faktor – faktor yang mempengaruhi proses pemanasan air adalah:

1. Faktor yang berhubungan dengan radiasi matahari yang ditangkap oleh kolektor surya.
2. Faktor yang berhubungan dengan bahan atau media yang menjadi laluan fluida mengalir.

Pada alat pemanas air mekanis ini, memerlukan energi untuk memanaskan alat pemanas air serta dapat mengimbangi radiasi panas yang keluar dari alat dan pada saat proses memanaskan air. Semakin tinggi suhu yang digunakan untuk memanaskan maka makin tinggi pula energi yang disuplai dan makin cepat pula laju pemanasannya.

Dalam hal ini keuntungan pemanas air mekanis yaitu:

- Tidak menggunakan bahan bakar minyak.
- Bersifat aman dan bebas polusi.
- Tidak memerlukan tempat yang luas.
- Kondisi pada saat proses memanaskan air dapat dikendalikan

Proses memanaskan air dapat dilakukan dengan dua metode yaitu:

1. Proses memanaskan secara langsung adalah air dipanaskan dengan cara mengalirkan air melalui pipa-pipa kapiler berbahan tembaga yang mendapatkan energi panas langsung dari radiasi matahari dan dikonduksikan ke pipa tembaga.
2. Proses memanaskan secara tidak langsung adalah air yang telah dialirkan di pipa mendapatkan panas yang telah dikumpulkan oleh kolektor surya plat datar dan kemudian dikonduksikan ke pipa tembaga.

Peristiwa yang terjadi selama proses memanaskan air meliputi perpindahan panas dari matahari ke kolektor surya dan diteruskan ke air melalui pipa tembaga.

Proses perpindahan panas terjadi karena temperatur air yang belum mengalir melalui pipa tembaga di dalam kolektor surya lebih rendah daripada temperatur air yang telah mengalir. Panas ini diberikan oleh plat/absorber yang berada di dalam kolektor surya dan panas ini akan menaikkan temperatur air. Pada saat proses memanaskan air dimulai, panas diberikan ke pipa tembaga sebagai media untuk mengalirkan air dan akan menaikkan temperatur air.

2.5. Geometri Radiasi Surya

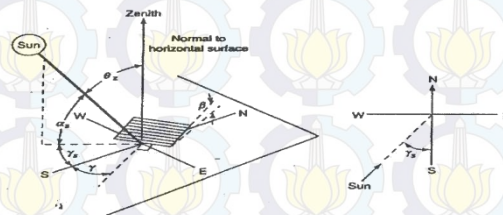
Lokasi dan kemiringan permukaan menentukan besarnya sudut datang radiasi surya pada permukaan tersebut. Hubungan antara suatu permukaan dengan radiasi surya yang datang dapat digambarkan dengan beberapa istilah yang diwakili oleh simbol-simbol sudut di bawah ini:

- Φ = sudut lintang merupakan sudut lokasi permukaan terhadap ekuator, dimana untuk arah Utara diberi tanda positif; $-90^\circ \leq \Phi \leq 90^\circ$.
- δ = sudut deklinasi matahari terhadap garis zenith di ekuator pada saat jam 12.00 waktu matahari atau letak

sudut kemiringan bumi-matahari akibat rotasi bumi pada arah sumbu axis bumi-matahari. Untuk arah Utara diberi tanda positif; $-23,45^\circ \leq \beta \leq 23,45^\circ$.

- β = sudut kemiringan, yaitu sudut antara permukaan bidang yang dimaksud dengan bidang horisontal; $0 \leq \beta \leq 180^\circ$.
- γ = sudut azimuth permukaan, yaitu sudut antara proyeksi dan arah normal permukaan pada bidang horisontal dengan garis meridian, (titik nol di Selatan, ke arah Timur bertanda negatif, ke arah Barat bertanda positif); $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$.
- θ = sudut insiden datang, yaitu sudut antara radiasi langsung pada permukaan dengan arah normal dan permukaan tersebut.
- θ_z = sudut zenith matahari, yaitu sudut antara radiasi langsung dan matahari dengan garis normal bidang horisontal.
- α = sudut ketinggian matahari, yaitu sudut antara radiasi langsung dan matahari dengan bidang horisontal.
- ω = sudut jam, yaitu perpindahan sudut dan matahari ke arah Timur atau Barat dari garis bujur lokal akibat rotasi bumi pada axisnya sebesar 15 tiap jam (harga nol tepat pada jam 12.00 waktu matahari, ke arah pagi bertanda positif, ke arah petang bertanda negatif).

Untuk lebih jelasnya, pendefinisian sudut-sudut di atas dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.10 Sudut-sudut Matahari Pada Permukaan

Sudut deklinasi (δ) dapat ditentukan dengan persamaan Cooper (1969), sebagai berikut:

$$\delta = 23,45 \sin \left(360x \frac{284 + n}{365} \right) \dots\dots\dots (2.30)$$

dimana n adalah nomor urut tanggal dalam sam tahun, dimulai $n = 1$ pada tanggal 1 januari dan seterusnya.

Tabel 2.1. Deklinasi Dan Nilai n Untuk Rata-Rata Hari Dalam Bulan

Month	n for i th Day of Month	For the Average Day of the Month		
		Date	n , Day of Year	δ , Declination
January	i	17	17	-20.9
February	$31 + i$	16	47	-13.0
March	$59 + i$	16	75	-2.4
April	$90 + i$	15	105	9.4
May	$120 + i$	15	135	18.8
June	$151 + i$	11	162	23.1
July	$181 + i$	17	198	21.2
August	$212 + i$	16	228	13.5
September	$243 + i$	15	258	2.2
October	$273 + i$	15	288	-9.6
November	$304 + i$	14	318	-18.9
December	$334 + i$	10	344	-23.0

Sumber: I. A. Duffie & W. A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Process*, John Willey & Sons, inc., New York, 1991, hal 14.

Sedangkan hubungan antara sudut datang dengan sudut-sudut yang lain oleh Beckman ditulis sebagai berikut:

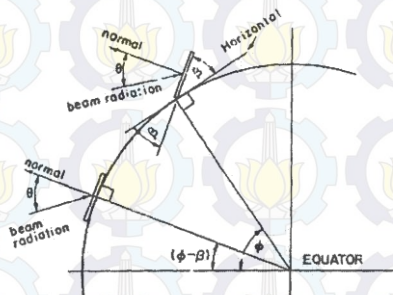
$$\begin{aligned} \cos\theta &= \sin\delta \sin\varnothing \cos\beta - \sin\delta \cos\varnothing \sin\beta \cos\gamma \\ &+ \cos\delta \cos\varnothing \cos\beta \cos\omega \\ &+ \cos\delta \sin\varnothing \sin\beta \cos\gamma \cos\omega \\ &+ \cos\delta \sin\beta \sin\gamma \\ &\sin\omega \dots\dots\dots (2.31) \end{aligned}$$

Untuk suatu permukaan horisontal dimana $\beta = 0$, maka sudut datang akan sama dengan sudut zenith, karena garis normal permukaan berimpit dengan zenith, maka Persamaan (2.16) menjadi:

$$\cos\theta_z = \cos\delta \cos\omega + \sin\delta \sin\delta \dots\dots\dots(2.32)$$

Untuk sudut datang pada permukaan yang menghadap ke arah Utara atau Selatan dengan kemiringan, mempunyai hubungan sudut yang sama dengan sudut datang pada permukaan horisontal pada sudut lintang yang sudah disesuaikan sebagai $(\Phi - \beta)$. Hubungan ini dapat dilihat pada Gambar 2.9. Sesuai dengan perjanjian tanda, untuk belahan bumi Utara, maka persamaan sudut datang pada Persamaan (2.17) dapat dimodifikasi menjadi:

$$\cos\theta = \cos(\Phi - \beta) \cos\delta \cos\omega + \sin(\Phi - \beta) \sin\delta \dots\dots\dots(2.33)$$



Gambar 2.11 Bagian Bumi yang Memperlihatkan sudut

Sedangkan untuk belahan bumi selatan, dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\cos\theta_z = \cos(\Phi + \beta) \cos\delta \cos\omega + \sin(\Phi + \beta) \sin\delta \dots\dots\dots(2.34)$$

Sudut jam matahari terbenam (ω_s) yang tercapai dapat dirumuskan sebagai:

$$\cos \omega_s = -\frac{\sin \phi \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta} \dots\dots\dots (2.35)$$

$$\cos \omega_s = -\tan \phi \tan \delta$$

2.6. Radiasi Luar Angkasa (extraterrestrial) Pada Permukaan Horisontal

Radiasi ekstraterrestrial merupakan radiasi surya di luar bumi atau radiasi di bumi jika tidak ada atmosfer. Menghitung radiasi ekstraterrestrial akan berguna dalam mengestimasi fraksi dan radiasi beam maupun difusi dan total intensitas yang jatuh pada suatu permukaan. Radiasi surya yang diterima oleh suatu permukaan horisontal di luar atmosfer bumi pada kondisi dimana arah rambatan radiasi tegak lurus bidang permukaan, oleh Beckman dirumuskan sebagai:

$$G_o = G_{sc} \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \cos \theta_z \dots\dots\dots (2.36)$$

Dimana G_{sc} adalah konstanta matahari, dan n menyatakan urutan hari.

Dengan mensubstitusikan Persamaan (θ_z) ke dalam persamaan di atas, maka diperoleh:

$$G_o = G_{sc} \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] (\cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta) \quad (2.37)$$

Seringkali diperlukan perhitungan radiasi surya harian, maka Persamaan (2.21) dapat diintegrasikan selama periode dan matahari terbit hingga terbenam. Radiasi surya

harian, H_0 dinyatakan dalam satuan joule per meter persegi menurut persamaan yang diberikan Beckman sebagai berikut:

$$H_o = \frac{24 \times 3600}{\pi} G_{sc} \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \times \left(\cos \phi \cos \delta \cos \omega + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \phi \sin \delta \right) \dots\dots\dots(2.38)$$

dimana sudut jam matahari terbenam, ω_s dinyatakan dalam derajat.

Sedangkan besarnya radiasi extraterrestrial setiap jam untuk suatu bidang horisontal dirumuskan oleh Beckman sebagai:

$$I_o = \frac{12 \times 3600}{\pi} G_{sc} \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \times \left(\cos \phi \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{\pi(\omega_2 - \omega_1)}{180} \sin \phi \sin \delta \right) \dots(2.39)$$

Tabel 2.2 Radiasi Extraterrestrial rata-rata bulanan

ϕ	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
90	0.0	0.0	1.2	19.3	37.2	44.8	41.2	26.5	5.4	0.0	0.0	0.0
85	0.0	0.0	2.2	19.2	37.0	44.7	41.0	26.4	6.4	0.0	0.0	0.0
80	0.0	0.0	4.7	19.6	36.6	44.2	40.5	26.1	9.0	0.6	0.0	0.0
75	0.0	0.7	7.8	21.0	35.9	43.3	39.8	26.3	11.9	2.2	0.0	0.0
70	0.1	2.7	10.9	23.1	35.3	42.1	38.7	27.5	14.8	4.9	0.3	0.0
65	1.2	5.4	13.9	25.4	35.7	41.0	38.3	29.2	17.7	7.8	2.0	0.4
60	3.5	8.3	16.9	27.6	36.6	41.0	38.8	30.9	20.5	10.8	4.5	2.3
55	6.2	11.3	19.8	29.6	37.6	41.3	39.4	32.6	23.1	13.8	7.3	4.8
50	9.1	14.4	22.5	31.5	38.5	41.5	40.0	34.1	25.5	16.7	10.3	7.7
45	12.2	17.4	25.1	33.2	39.2	41.7	40.4	35.3	27.8	19.6	13.3	10.7
40	15.3	20.3	27.4	34.6	39.7	41.7	40.6	36.4	29.8	22.4	16.4	13.7
35	18.3	23.1	29.6	35.8	40.0	41.5	40.6	37.3	31.7	25.0	19.3	16.8
30	21.3	25.7	31.5	36.8	40.0	41.1	40.4	37.8	33.2	27.4	22.2	19.9
25	24.2	28.2	33.2	37.5	39.8	40.4	40.0	38.2	34.6	29.6	25.0	22.9
20	27.0	30.5	34.7	37.9	39.3	39.5	39.3	38.2	35.6	31.6	27.7	25.8
15	29.6	32.6	35.9	38.0	38.5	38.4	38.3	38.0	36.4	33.4	30.1	28.5
10	32.0	34.4	36.8	37.9	37.5	37.0	37.1	37.5	37.0	35.0	32.4	31.1
5	34.2	36.0	37.5	37.4	36.3	35.3	35.6	36.7	37.2	36.3	34.5	33.5
0	36.2	37.4	37.8	36.7	34.8	33.5	34.0	35.7	37.2	37.3	36.3	35.7
-5	38.0	38.5	37.9	35.8	33.0	31.4	32.1	34.4	36.9	38.0	37.9	37.6
-10	39.5	39.3	37.7	34.5	31.1	29.2	29.9	32.9	36.3	38.5	39.3	39.4
-15	40.8	39.8	37.2	33.0	28.9	26.8	27.6	31.1	35.4	38.7	40.4	40.9
-20	41.8	40.0	36.4	31.3	26.6	24.2	25.2	29.1	34.3	38.6	41.2	42.1
-25	42.5	40.0	35.4	29.3	24.1	21.5	22.6	27.0	32.9	38.2	41.7	43.1
-30	43.0	39.7	34.0	27.2	21.4	18.7	19.9	24.6	31.2	37.6	42.0	43.8
-35	43.2	39.1	32.5	24.8	18.6	15.8	17.0	22.1	29.3	36.6	42.0	44.2
-40	43.1	38.2	30.6	22.3	15.8	12.9	14.2	19.4	27.2	35.5	41.7	44.5
-45	42.8	37.1	28.6	19.6	12.9	10.0	11.3	16.6	24.9	34.0	41.2	44.5
-50	42.3	35.7	26.3	16.8	10.0	7.2	8.4	13.8	22.4	32.4	40.5	44.3
-55	41.7	34.1	23.9	13.9	7.2	4.5	5.7	10.9	19.8	30.5	39.6	44.0
-60	41.0	32.4	21.2	10.9	4.5	2.2	3.1	8.0	17.0	28.4	38.7	43.7
-65	40.5	30.6	18.5	7.9	2.1	0.3	1.0	5.2	14.1	26.2	37.8	43.7
-70	40.8	28.8	15.6	5.0	0.4	0.0	0.0	2.6	11.1	24.0	37.4	44.9
-75	41.9	27.6	12.6	2.4	0.0	0.0	0.0	0.8	8.0	21.9	38.1	46.2
-80	42.7	27.4	9.7	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	20.6	38.8	47.1
-85	43.2	27.7	7.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	20.3	39.3	47.6
-90	43.3	27.8	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	20.4	39.4	47.8

2.7. Radiasi Surya pada Permukaan Bumi

Radiasi surya yang sampai pada permukaan bumi telah mengalami perubahan intensitas akibat penghamburan antara lain oleh molekul-molekul udara, nitrogen dan oksigen, aerosol, nap air dan debu dan partikel-partikel lain.

Penghamburan radiasi ini menyebabkan langit tampak berwarna biru pada hari cerah.

Beberapa radiasi yang sudah mengalami penghamburan ini mencapai permukaan bumi dikenal dengan radiasi difusi. Radiasi difusi biasanya juga disebut sebagai radiasi langit. Apabila radiasi surya tidak mengalami penghamburan oleh atmosfer, maka radiasi sampai ke permukaan bumi sebagai radiasi langsung (beam radiation).

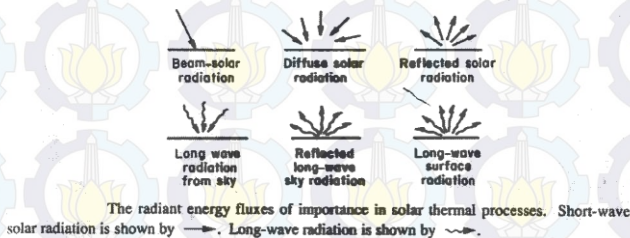
Pelemahan radiasi juga disebabkan oleh penyerapan atmosfer oleh molekul-molekul ozon, air dan karbondioksida. Penyerapan radiasi oleh molekul ozon di luar atmosfer terjadi pada daerah panjang gelombang ultra violet dan panjang gelombang radiasi di bawah 0,291 μm . Uap air memegang peranan penting dalam penyerapan spektrum radiasi inframerah. Banyaknya pelemahan radiasi ditentukan oleh panjang lintasan atmosfer yang dilalui sinar dan komposisi atmosfer. Panjang lintasan atmosfer dinyatakan dalam massa udara (air mass) yaitu rasio massa atmosfer dalam lintasan bumi-matahari yang sesungguhnya terhadap massa yang berada dalam lintasan dimana matahari tepat di atas permukaan laut. Rasio massa udara dirumuskan:

$$m = \frac{1}{\cos \theta_z} \dots\dots\dots (2.40)$$

Jadi pada permukaan laut apabila matahari berada tepat pada zenith nilai $m = 1$.

Secara umum radiasi termal dapat dibedakan menurut daerah panjang gelombangnya yaitu radiasi surya atau radiasi gelombang pendek dan gelombang panjang. Radiasi

gelombang pendek berasal atau dipancarkan dan matahari dan berada pada daerah panjang gelombang 0,3 — 3,0 urn. Radiasi gelombang panjang berasal dan suatu sumber pada temperatur mendekati temperatur ambien dengan daerah panjang gelombang lebih dan 3 rim. Radiasi gelombang panjang bisa dipancarkan oleh atmosfer, kolektor atau benda lain pada temperatur normal. Apabila radiasi dipancarkan dan bumi maka disebut radiasi terrestrial. Gambar 2.10 rnenunjukkan sifat radiasi yang sampai ke permukaan bumi.



Gambar 2.12 Sifat Radiasi termal Surya

2.8. Komponen Radiasi Langsung Dan Radiasi Difuse

Intensitas matahari yang melewati atmosfer terbagi menjadi dua yaitu ada yang secara langsung diteruskan menuju ke kolektor dan ada pula yang diteruskan ke kolektor melalui sebaran radiasi matahari di atmosfer (diffuse).

2.8.1. Intensitas matahari langsung (I_b)

Besar intensitas matahari langsung (I_b) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$I_b = H_o (1 - k) \dots\dots\dots(2.41)$$

k merupakan perbandingan intensitas radiasi matahari ekstraterrestrial (I_o) dengan intensitas radiasi total yang diterima permukaan (G_{sc}) yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$k = \frac{I_o}{H_o} \dots\dots\dots(2.42)$$

2.8.2 Intensitas Matahari difuse (Id)

Besar intensitas matahari difuse dapat dihitung dengan mengurangi radiasi total yang diterima permukaan bumi dengan radiasi langsung yang dirumuskan sebagai berikut :

$$I_d = H_o - I_b \dots\dots\dots(2.43)$$

2.9 Radiasi Total Pada Permukaan Miring Tetap

Permukaan pengumpul radiasi surya plat datar menyerap baik radiasi langsung maupun radiasi difusi. Radiasi yang datang pada suatu permukaan miring dapat diperkirakan dengan suatu faktor geometrik, R , yang menyatakan perbandingan radiasi total yang jatuh pada permukaan miring terhadap radiasi yang diterima apabila pada posisi horisontal.

$$R = \frac{I_T}{I} \dots\dots\dots (2.44)$$

Faktor geometrik R dapat diimplementasikan pada komponen radiasi langsung maupun difusi:

$$R = \frac{I_{bT}}{I_b} \dots\dots\dots(2.45)$$

Dan

$$R = \frac{I_{dT}}{I_d} \dots\dots\dots(2.46)$$

Sehingga faktor geometrik R dapat dinyatakan dalam:

$$R = \frac{I_b}{I} R_b + \frac{I_d}{I} R_d \dots\dots\dots(2.47)$$

Indeks b, d, dan T secara berturut-turut menyatakan komponen radiasi langsung, komponen difusi, dan posisi miring. Dalam hubungan dengan geometri radiasi surya, Rb dapat ditetapkan dengan persamaan:

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \dots\dots\dots(2.48)$$

Penentuan faktor Rd adalah berdasarkan keadaan langit. Apabila langit cerah maka R1 Rb, apabila langit berawan secara merata maka Rd = 1.

Liu dan Jordan (1963) mengembangkan suatu model radiasi total pada permukaan miring yang terdiri atas tiga komponen yaitu radiasi langsung, radiasi difusi dan radiasi yang dipantulkan secara difusi dan tanah. Jadi radiasi surya total pada permukaan yang membentuk sudut β adalah:

$$I_T = I_b R_b + I_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + (I_b + I_d) \rho_g \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \dots\dots(2.49)$$

‘View Factor’ terhadap langit sebesar $(1 + \cos \beta)$ dan terhadap tanah $(1 - \cos \beta)$ adalah faktor pemantulan radiasi permukaan sekeliling, dimana Liu dan Jordan (1963) menyatakan, harga $\rho_g = 0,2$ digunakan untuk keadaan sekeliling yang tak bersalju dan $\rho_g = 0,7$ digunakan bila permukaan sekeliling diliputi salju.

2.10 Tinjauan Umum Kolektor Surya Pada Pemanas air Tenaga Surya

Kolektor surya adalah salah satu jenis alat penukar panas yang merubah energi radiasi matahari menjadi energi pana. Kolektor surya memanfaatkan energi matahari berupa radiasi matahari dan merubahnya menjadi energi panas pada fluida. Besarnya energi panas yang dipindahkan oleh kolektor surya, tergantung dari ketersediaan radiasi matahari tiap saat dan kemampuan kolektor untuk menyerap energi matahari tersebut.

Pada kolektor surya pemanas air tenaga surya ini, radiasi matahari dimanfaatkan untuk memanaskan air yang dialirkan melalui pipa tembaga yang diletakkan diatas plat sebagai absorber kolektor surya. Radiasi matahari yang diserap absorber akan ditransfer ke pipa tembaga secara konduksi, namun radiasi matahari yang diterima plat absorber juga mengalami efek reflektivitas sehingga menyebabkan ruang pemanas air yang menjadi media pipa tembaga tersebut juga akan mengalami kenaikan temperatur dan mentransferkan energi panas yang diterima ke pipa tembaga.

2.11 Kolektor Surya Plat Datar

Kolektor surya plat datar adalah suatu bentuk khusus alat penukar panas di mana perpindahan panas radiasi memegang peranan yang sangat penting. Apabila pada pesawat penukar panas konvensional, energi panas dipindahkan antar fluida dan radiasi bukanlah suatu hal yang penting maka pada kolektor surya plat datar, energi dipindahkan dan sumber energi radiasi yang berjarak tertentu, dan melalui prinsip konversi fotothermal, energi radiasi matahari diubah menjadi energi panas.

Prinsip konversi fotothermal dapat dijelaskan dengan fenomena efek rumah kaca (greenhouse effect). Radiasi yang menimpa permukaan tutup transparan kolektor surya plat datar, sebagian besar menembus penutup kolektor dan diserap

plat datar yang bertindak sebagai pengumpul energi. Plat yang telah menyerap energi matahari lalu bertindak sebagai sumber radiasi dengan memancarkan radiasi gelombang panjang yang tidak dapat menembus kaca. Dengan adanya radiasi yang terperangkap dalam rumah kaca, maka udara yang berada dalam ruang kaca mengalami pemanasan sehingga temperatur dalam ruang kaca meningkat dan lebih tinggi daripada temperatur sekeliling. Kolektor surya plat datar dirancang untuk penggunaan energi pada temperatur moderat. Untuk keperluan temperatur kerja yang lebih tinggi, digunakan kolektor konsentrasi. Pada umumnya kolektor surya plat datar digunakan untuk pemanas air, pemanas ruang, pengkondisian udara, dan proses pengeringan. Kolektor ini tidak memerlukan alat pengarah matahari, jadi posisi kolektor relatif tetap. Oleh karena itu secara mekanik, kolektor surya plat datar lebih sederhana daripada kolektor konsentrasi dan perawatannya lebih mudah.

2.11.1. Bagian-Bagian Utama Kolektor Surya Plat Datar

Secara umum, kolektor surya plat datar terdiri atas bagian-bagian utama, sebagai berikut:

- a. Plat penyerap, berfungsi untuk menyerap energi radiasi yang diteruskan oleh penutup transparan. Bahan plat yang digunakan adalah tembaga, baja, aluminium, yaitu logam yang memiliki konduktivitas yang tinggi. Biasanya permukaan plat dicat hitam buram untuk meningkatkan kemampuan serapnya. Apabila yang digunakan adalah plat tembaga atau baja maka dapat diberi lapisan bahan khusus yang dapat meningkatkan kemampuan penyerapan radiasi sekaligus meminimalisirkan emisi.
- b. Pipa tembaga, berfungsi sebagai media untuk mengalirkan air yang dipanaskan. Bahan pipa sendiri terbuat dari logam yang memiliki nilai konduktivitas yang tinggi sehingga panas

yang diterima langsung dari matahari maupun yang diterima dari plat absorber dapat terserap dengan baik.

c. Penutup transparan, terbuat dari bahan semitransparan yang dapat meneruskan sebagian besar energi radiasi. Fungsinya adalah untuk mengurangi kehilangan panas konveksi dan radiasi ke sekeliling. Bahan yang digunakan umumnya kaca atau bisa juga plastik. Penutup bisa terdiri dari satu atau beberapa lapis kaca.

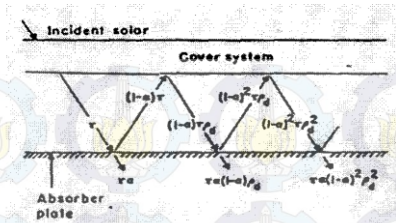
d. Lapisan Isolator, lapisan ini ditempatkan di sisi kanan, kiri dan bawah kolektor. Lapisan ini biasanya terbuat dari bahan yang nilai konduktivitasnya sangat rendah seperti glass wool, hal ini dikarenakan untuk meminimalisirkan panas yang keluar dari kolektor surya.

e. Kerangka atau kotak penyangga, sebagai tempat atau wadah kolektor.

2.11.2. Radiasi Optik Pada Kolektor Surya Plat Datar

2.11.2.1 .Properti Radiasi Gabungan Antara Penutup Dan Plat Penyerap.

Radiasi yang menembus penutup semitransparan akan diteruskan sampai menimpa plat penyerap, dimana sebagian diserap dan sebagian lainnya dipantulkan kembali ke penutup. Namun seluruh radiasi tidak hilang karena beberapa dipantulkan kembali ke plat penyerap. Gambar 2.13 menunjukkan teknik ray tracing untuk mendapatkan sifat radiasi gabungan antara cover dan plat. Sifat gabungan ini disebut transmittance-absorptance product (τ_a), dimana τ adalah transmittivitas penutup dan a adalah absorptivitas plat penyerap.

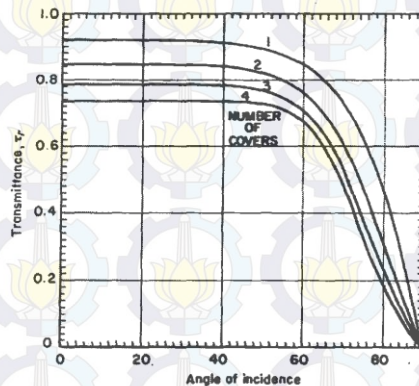


Gambar 2.13 Penyerapan Radiasi Surya oleh Plat Kolektor

Energi radiasi yang datang diserap oleh plat sebesar $\tau\alpha$ dan $(1-\alpha)\tau$ bagian dipantulkan kembali ke penutup. Selanjutnya $(1-\alpha)\tau\rho_d$ bagian dipantulkan kembali ke plat penyerap, ρ_d menyatakan reflektansi penutup oleh radiasi difusi yang datang dari bawah dan besarnya:

$$\rho_d = 1 - \tau_r \quad \dots\dots\dots(2.50)$$

nilai τ_r untuk indeks bias medium kaca $n = 1,526$ dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Nilai Transmittansi Indeks Bias

Begitu seterusnya terjadi pemantulan radiasi sampai diperoleh besaran energi yang diserap.

$$(\tau\alpha) = \tau\alpha \sum_{n=0}^{\infty} [(1-\alpha)\rho_d]^n = \frac{\tau\alpha}{1-(1-\alpha)\rho_d} \dots\dots\dots (2.51)$$

Harga (τ_a) pada kenyataannya kira-kira lebih besar 1% dan harga t dikali a , maka persamaan menjadi:

$$(\tau\alpha) \cong 1,01\tau\alpha \dots\dots\dots (2.52)$$

Persamaan ini dapat digunakan untuk mengestimasi transmittance-absorptance product.

2.11.2.2. Penyerapan Radiasi Oleh Plat Datar

Radiasi surya yang tiba pada suatu permukaan terdiri dari tiga bagian yaitu radiasi beam, difusi dan radiasi yang dipantulkan dari tanah. Oleh karena itu penyerapan radiasi, S pada kolektor surya plat datar dapat dihitung secara terpisah menurut distribusinya maka radiasi surya yang terserap kolektor dinyatakan dengan 4J.A. Duffie & W. A. Beckman, Solar Engineering Of Thermal Process, John Wiley & Sons, mc, New York, 1991, hal 230.

$$S = I_b \cdot R_b + I_d(\tau\alpha) \frac{(1+\cos\beta)}{2} + \frac{\rho(\tau\alpha)[I_b + I_d(1-\cos\beta)]}{2} \dots\dots(2.53)$$

Subskrip b , d dan g menyatakan beam, diffuse dan ground reflected secara berurutan. Faktor $(1+\cos\beta)$ adalah faktor bentuk dan kolektor terhadap langit dan $(1 - \cos\beta)$ adalah faktor bentuk dan kolektor terhadap tanah.

Berdasarkan pengertian dan produk transmittansi-absorptansi di atas, maka jumlah radiasi datang I_T pada permukaan, diserap oleh kolektor surya plat datar sebesar:

$$S = (\tau\alpha)_{av} I_T \dots\dots\dots(2.54)$$

Energi berguna kolektor tertinggi ketika radiasi langsung tinggi, dan sebagai pendekatan saat data I_T tersedia, dapat diasumsikan:

$$(\tau\alpha)_{av} \cong 0,96(\tau\alpha) \dots\dots\dots(2.55)$$

Sebenarnya sifat transmitivitas dan absorptivitas adalah fungsi dan sudut insiden, namun pada umumnya, untuk menyederhanakan perhitungan, maka harga τ dan α diambil sesuai dengan harga sifat penutup dan plat penyerap.

2.11.3. Keseimbangan Energi Pada Kolektor Surya Plat Datar

Keseimbangan energi pada kolektor surya plat datar dapat dinyatakan dalam distribusi energi surya yang datang dalam bentuk energi berguna, kerugian optis, dan kehilangan panas. Sejumlah fluks energi radiasi yang datang pada suatu kolektor sebagian besar diserap oleh plat penyerap tiap satuan luas kolektor, S setelah sebelumnya mengalami pengurangan energi karena sifat optis penutup dan plat. Energi panas yang hilang dan kolektor disebabkan adanya konduksi, konveksi dan radiasi, dinyatakan dengan koefisien kehilangan panas total (overall) U_L dikalikan dengan selisih antara temperatur plat rata-rata T_{pm} dengan temperatur ambien. Jumlah energi berguna, Q_u dan kolektor dengan luasan A dapat dinyatakan dalam persamaan keseimbangan energi sebagai berikut:

$$Q_u = A_c [S - U_L (T_{pm} - T_a)] \dots\dots\dots(2.56)$$

Persamaan ini dapat diformulasikan kembali untuk memperoleh persamaan keseimbangan energi yang dinyatakan dalam temperatur fluida masuk.

Adalah lebih mudah dilakukan dalam analisis dan perhitungan kolektor surya plat datar untuk dijadikan sebagai dasar perhitungan tanpa mengaburkan kondisi fisik dasar, karena plat merupakan fungsi dan desain kolektor yang sulit untuk ditetapkan.

Sejumlah asumsi yang dapat diberikan, yaitu:

- a. Kondisi steady state.
- b. Tidak ada penyerapan energi panas melalui kaca penutup.
- c. Aliran panas yang dilalui kaca penutup dan bidang penyerap dan kolektor adalah sama dimensi kearah vertikal.
- d. Penurunan temperatur antara bagian atas dan bagian bawah plat penyerap diabaikan.
- e. Properti tidak terpengaruh temperatur.
- f. Langit dianggap benda hitam untuk radiasi infra merah.
- g. Efek debu dan kotoran pada kolektor diabaikan.
- h. Radiasi pada plat penyerap adalah uniform.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dengan judul Analisis Kinerja Pemanas Air Menggunakan Kolektor Surya Plat Datar dengan 1 Kaca Penutup dilaksanakan pada bulan Juni 2012 di lapangan D3 Teknik Mesin ITS Surabaya

3.2 Kriteria Perencanaan

Perencanaan sistem pemanas air tenaga surya ini mengacu pada pertimbangan faktor-faktor berikut :

- a. Menggunakan sistem yang sesederhana mungkin (tepat guna).
- b. Dapat dikerjakan dengan teknologi sederhana.
- c. Menggunakan material – material yang mudah didapat.
- d. Mudah dioperasikan.
- e. Biaya pembuatan yang murah
- f. Perawatan mudah dan murah.

Dengan memenuhi kriteria diatas diharapkan sitem pemanas ini mudah dikembangkan dan dapat digunakan oleh masyarakat umum baik golongan menengah kebawah ataupun menengah keatas.

Desain fungsional sistem pemanas air tenaga surya yaitu:

3.2.1 Kolektor surya plat datar.

Kolektor surya berfungsi untuk mengumpulkan energi radiasi matahari dan mengubahnya menjadi energi panas yang selanjutnya akan digunakan untuk memanaskan air didalam pipa tembaga. Konstruksi dari kolektor surya plat datar yang digunakan terdiri dari:

- a. Plat kolektor, berfungsi untuk menyerap energi radiasi yang diteruskan oleh penutup transparan. Bahan plat yang digunakan adalah seng. Permukaan plat dicat hitam buram untuk meningkatkan kemampuan serapnya.
- b. Penutup transparan, terbuat dari kaca yang dapat meneruskan sebagian besar energi radiasi matahari. Fungsinya adalah untuk menangkap udara panas dan mengurangi kehilangan panas konveksi dan radiasi ke luar.
- c. Insulator, yaitu alat penyekat terbuat dari bahan glass wool yang memiliki sifat konduktivitas panas yang rendah. Sesuai dengan namanya, fungsinya sebagai penyekat untuk meminimalkan kehilangan panas pada bagian bawah kolektor.



Gambar 3.1 Kolektor surya

3.2.2 Penampung air (Reservoir)

Pada bagian luar penampung air ini akan dipasang isolasi dari bahan glass woll. Hal ini bertujuan agar dapat menghambat perpindahan kalor dari air panas ke lingkungan.



Gambar 3.2. Penampung air

c. Pompa air

untuk mensirkulasikan air dalam sistem pemanas air tenaga matahari ini digunakan pompa air.



Gambar 3.3. Pompa air

3.3 Persiapan Awal

- a. Penentuan tema awal tugas akhir mengenai : kinerja pemanasan air menggunakan radiasi matahari dan perubahan debit air terhadap waktu pemanasan air.
- b. Penjadwalan dan persiapan terhadap pengujian alat

3.4 Prosedur Percobaan

3.4.1 Pengukuran

Pengukuran dilakukan dengan memanaskan kolektor surya dan sample pipa tembaga yang diletakkan didalam kolektor di bawah sinar matahari. Setelah temperatur di kolektor surya dianggap steady, maka pengukuran dilakukan.

3.4.2 Peralatan Penelitian

Peralatan - peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat-alat yang digunakan dalam penelitian di lapangan, berupa alat uji dan alat bantu untuk pengukuran. Peralatan yang digunakan adalah:

1. Kolektor surya berfungsi untuk mengumpulkan radiasi matahari dan mengubahnya menjadi energi panas yang kemudian ditransfer ke air melalui pipa tembaga.

Dimensi dari kolektor surya adalah :

- Kaca bening (clear glass) dengan tebal : 0,3 cm
- Plat kolektor (seng dicat hitam buram) tebal : 0,1 cm
- Insulator (glass wool) dengan tebal : 5 cm
- Jarak antara kaca dengan plat kolektor : 2 cm
- Sudut kemiringan kolektor : 10°
- Panjang : 150 cm
- Lebar : 50 cm
- Tinggi : 8 cm

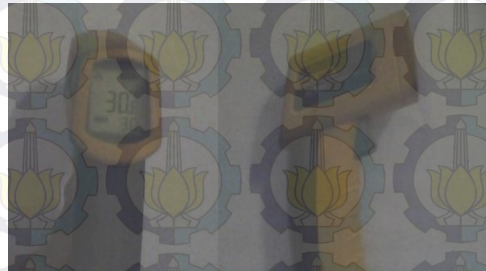
2. Pipa tembaga

Pipa ini berada didalam kolektor surya berfungsi untuk mentransfer panas yang terperangkap di kolektor surya ke air yang disirkulasikan oleh pompa.



Gambar 3.4. Pipa tembaga

3. Pompa, berfungsi untuk mensirkulasikan air.
4. Tandon air, berfungsi untuk menyimpan air sebelum dan sesudah disirkulasikan.
5. Termometer, berfungsi untuk mengukur temperatur.



Gambar 3.5. Termometer

3.4.3. Tata Cara Pengukuran

Untuk melakukan pengukuran, dilakukan beberapa tahap pengukuran di antaranya:

3.4.3.1. Perencanaan Panjang Pipa

Sebelum menghitung panjang pipa tembaga ini kita perlu terlebih dahulu mengetahui temperatur udara sekitar, temperatur kaca penutup, temperatur didalam kolektor, dan temperatur plat untuk mengetahui berapa panjang pipa yang dibutuhkan.

3.4.3.2. Tahap Persiapan

1. Mempersiapkan kolektor surya untuk dipanaskan.
2. Mempersiapkan Pipa Tembaga untuk dipanaskan didalam kolektor .
3. Mempersiapkan Alat ukur.

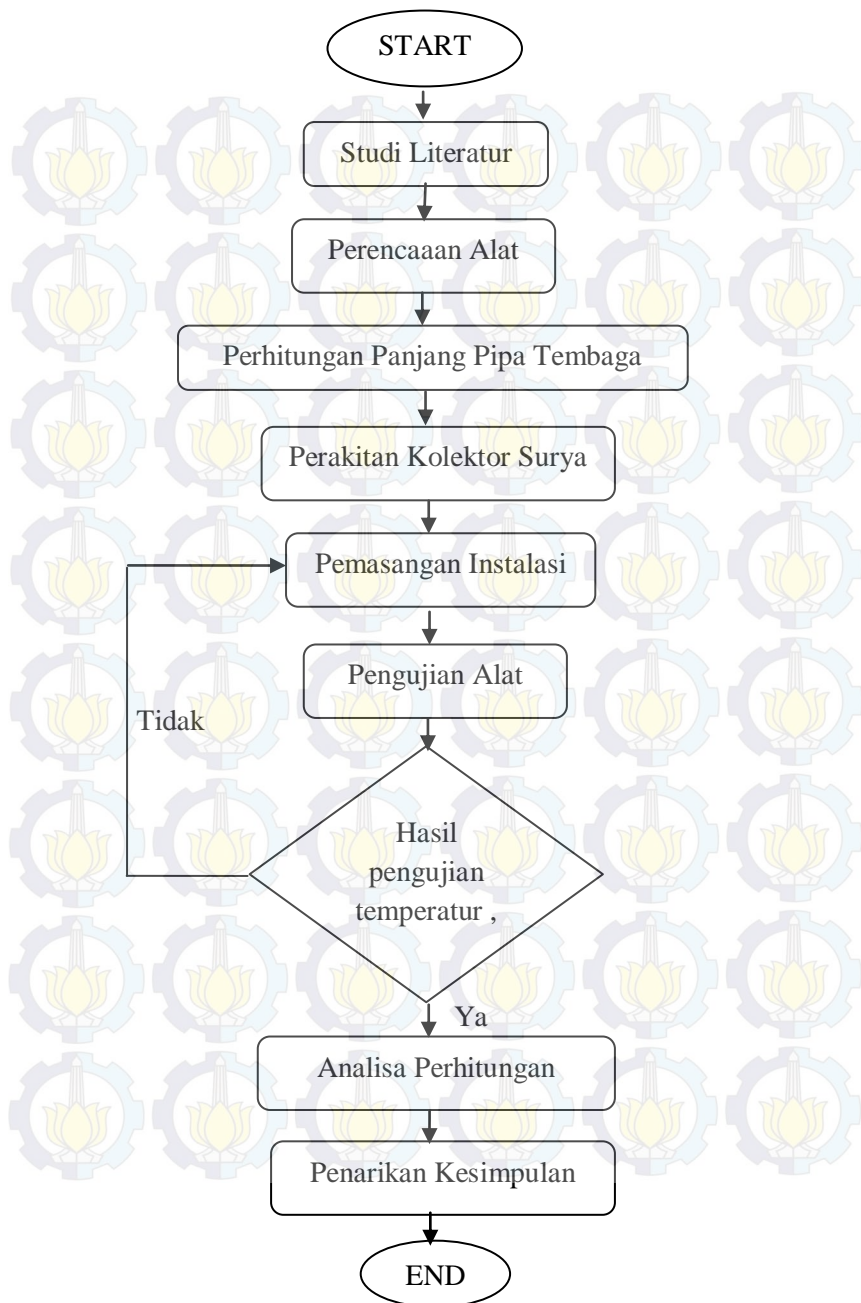
3.4.3.3 Tahap Percobaan

1. Memanaskan kolektor surya dibawah sinar matahari dan mengarahkan permukaan kolektor kearah utara
2. Meletakkan Sample Pipa Tembaga ke dalam Kolektor Surya.
3. Pengukuran Temperatur sample.

Pada tahap ini, data diambil dengan melakukan pengukuran terhadap temperatur kolektor dan sample uji per jam sesuai dengan waktu yang dibutuhkan pada saat memanaskan kolektor, dimulai dari jam 09.00 s/d 15.00 WIB.

3.5. Diagram Alur Tugas Akhir

Untuk penyusunan tugas akhir ini dapat dilihat dari diagram alir berikut ini:



BAB IV

PERHITUNGAN PERENCANAAN

4.1 Data Penelitian

Pengambilan data penelitian dilaksanakan di D3 Teknik Mesin ITS pada bulan Juni dengan posisi 7 LS dan 112.8 BT diambil dari data geografis letak ITS Surabaya.

4.1.1 Data Radiasi Matahari

Data yang diambil berupa temperatur, intensitas matahari, dan data-data penunjang yaitu luasan permukaan kolektor surya. Data-data yang akan ditampilkan dalam bab 4 ini adalah data - data hasil pemanasan kolektor surya sebagai gambaran bagaimana penulis menganalisa unjuk kerja kolektor surya tersebut. Adapun data lain akan ditampilkan dalam lampiran sebagai penunjang data. Rentang pengambilan data diambil untuk masing-masing proses pemanasan adalah tiap 1 jam dari pukul 09.00 WIB sampai dengan pukul 15.00 WIB.

4.2 Data Awal Perencanaan

- Lama proses pemanasan = 6 jam, berlangsung dari pukul 09.00 – 15.00 WIB.
- Luasan permukaan kolektor surya (panjang x lebar) = 1.5m x 0.5m.
- Diameter pipa tembaga 5/8" (15,7 mm) dengan ketebalan lapisan 0,7 mm dan diameter dalam pipa 15 mm
- Sudut kemiringan kolektor = 10°
- Data-data klimatologi yang digunakan adalah bulan Juni tahun 2012.
- Posisi kota Surabaya berada di 7° LS.

4.3. Analisa Intensitas Radiasi Matahari

Intensitas radiasi matahari diambil berdasarkan letak geografis serta pada waktu tertentu. Sebagai contoh dalam perhitungan sudut radiasi matahari ini, diambil waktu per tanggal 30 Juni 2012 antara pukul 09.00 WIB hingga pukul 15.00 WIB. Dan data lain yang didapatkan sebelumnya adalah

- Pengamatan dilakukan di kampus D3 Teknik Mesin ITS pada bulan Juni 2012
- Letak geografis berada pada 7 LS dan 112,8 BT diambil dari data geografis letak ITS Surabaya, maka diketahui besar sudut latitude $\Phi = -7^\circ$ (tanda negatif berarti posisi lokasi di belahan selatan bumi)
- Diketahui pula hari waktu pengamatan yaitu pada hari ke 182 ($n = 182$), yaitu dari acuan pada tanggal 30 Juni 2012
- ketinggian tempat pengamatan yaitu berada pada 8 m di atas permukaan laut

4.3.1 Analisa Sudut Jam Matahari

Diketahui besar sudut per jam matahari adalah 15° per jam, maka dapat dicari sudut jam matahari pengamatan dari pukul 09.00-15.00

$$\omega_1 = -15^\circ(09.00-15.00) = -90^\circ$$

$$\omega_2 = -15^\circ(12.00-15.00) = -45^\circ$$

Sudut jam matahari:

$$\omega = \frac{(-90 - 45)}{2} = -67,5^\circ$$

$$\text{Konstanta matahari} = G_{sc} = 1367 \text{ J/m}^2\text{s}$$

Bumi dalam peredarannya mengintari matahari, berotasi pada sumbunya yang condong sebesar $23,45^\circ$ terhadap bidang ekliptika. Kemiringan sumbu putar bumi ini menyebabkan variasi sudut antara garis bumi-matahari terhadap bidang ekuator bumi setiap harinya. Sudut ini disebut sudut deklinasi matahari (δ).

Deklinasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\delta = 23.45 \cdot \sin\left(360 \frac{284 + 182}{365}\right)$$

$$\delta = 23.45 \cdot \sin\left(360 \frac{284 + 182}{365}\right)$$

$$\delta = 21,89$$

Sudut deklinasi terletak pada selatan garis ekuator, maka

$$\delta = -21,89^\circ$$

4.3.2 Analisa Sudut Datang Matahari

Sudut datang matahari dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$\cos \theta = \sin \delta \cdot \sin \phi - \sin \delta \cdot \cos \phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma$$

$$+ \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \beta \cdot \cos \omega$$

$$+ \cos \delta \cdot \sin \phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega$$

$$+ \cos \delta \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega$$

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \sin(-21,89) \cdot \sin(-7) - \sin(-21,89) \\ &\cdot \cos(-7) \cdot \sin 10 \cdot \cos 180 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \cos(-21,89) \cdot \cos(-7) \cdot \cos 10 \cdot \cos(-67,5) \\
& + \cos(-21,89) \cdot \sin(-7) \cdot \sin 10 \cdot \cos 180 \cdot \cos(-67,5) \\
& + \cos(-21,89) \cdot \sin 10 \cdot \sin 180 \cdot \sin(-90) \\
\cos \theta & = 0,335783905
\end{aligned}$$

4.3.3 Sudut datang bidang horizontal

Dikarenakan letaknya berada di bumi bagian selatan, sudut datang bidang horizontal dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
\cos \theta_z & = \cos(\Phi + \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin(\Phi + \beta) \sin \delta \\
\cos \theta_z & = \cos(-7 + 10) \cos(-21,89) \cos(-67,5) \\
& + \sin(-7 + 10) \sin(-21,89) \\
\cos \theta_z & = 0,33509363
\end{aligned}$$

4.3.4 Radiasi matahari yang diterima kolektor

Sudut jam matahari terbenam dinyatakan sebagai ω_s dan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\cos \omega_s & = -\tan \phi \cdot \tan \delta \\
& = -\tan(-7) \cdot \tan(-21,89) \\
& = -0,049334184 \\
\omega_s & = 92,83^\circ
\end{aligned}$$

Radiasi matahari harian pada saat posisi matahari terbit sampai dengan tenggelam dapat dihitung dengan persamaan :

$$\begin{aligned}
H_o & = \frac{24 \cdot 3600}{\pi} G_{sc} \left(1 + 0,033 \cos \frac{360 \cdot n}{365} \right) \cdot \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega \\
& + \pi \cdot \frac{\omega_s}{180} \cdot \sin \phi \cdot \sin \delta
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{24 \cdot 3600}{\pi} 1367 \left(1 + 0.033 \cos \frac{360 \cdot 182}{365} \right) \\
 &\quad \cdot \cos(-7) \cdot \cos(-21,89) \cdot \cos(-67,5) \\
 &\quad + \pi \cdot \frac{92,83}{180} \cdot \sin(-7) \cdot \sin(-21,89) \\
 H_0 &= 12882261,18 \text{ J/m}^2\text{s}
 \end{aligned}$$

4.3.5. Intensitas matahari ekstraterrestrial per jam

Intensitas matahari ekstraterrestrial yang diterima kolektor surya setiap jamnya dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 I_o &= \frac{12 \cdot 3600}{\pi} G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360 \cdot n}{365} \right) \\
 &\quad \cdot \cos \phi \cdot \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) \\
 &\quad + \pi \cdot \frac{\omega_2 - \omega_1}{180} \cdot \sin \phi \cdot \sin \delta
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_o &= \frac{12 \cdot 3600}{\pi} 1367 \left(1 + 0.033 \cos \frac{360 \cdot 182}{365} \right) \\
 &\quad \cdot \cos(-7) \cdot \cos(-21,89) (\sin(-45) - \sin(-90)) \\
 &\quad + \pi \cdot \frac{(-45) + 90}{180} \cdot \sin(-7) \cdot \sin(-21,89) \\
 I_o &= 4929827,931 \text{ J/m}^2\text{s}
 \end{aligned}$$

4.3.6 Intensitas matahari langsung dan intensitas matahari difuse

Intensitas matahari yang melewati atmosfer terbagi menjadi dua yaitu ada yang secara langsung diteruskan menuju ke kolektor dan ada pula yang diteruskan ke kolektor melalui sebaran radiasi matahari di atmosfer (diffuse).

4.3.6.1 Intensitas matahari langsung (I_b)

Besar intensitas matahari langsung (I_b) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$I_b = H_o(1 - k)$$

k merupakan perbandingan intensitas radiasi matahari ekstraterrestrial (I_o) dengan intensitas radiasi total yang diterima permukaan (H_o) yang dapat dirumuskan sebagai :

$$k = \frac{I_o}{H_o}$$

$$4929827,931$$

$$k = \frac{4929827,931}{12882261,18}$$

$$k = 0,382683432$$

Setelah diketahui nilai dari k sehingga dapat dicari nilai dari intensitas matahari langsung (I_b).

$$I_b = H_o(1 - k)$$

$$I_b = 12882261(1 - 0,382683432)$$

$$I_b = 7952433,149 \text{ J/m}^2 \text{ s}$$

4.3.6.2 Intensitas Matahari difuse (I_d)

$$\begin{aligned} I_d &= H_o - I_b \\ &= 12882261,18 - 7952433,149 \\ &= 4929828,031 \text{ J/m}^2\text{s} \end{aligned}$$

4.3.7 Intensitas matahari total yang diterima oleh permukaan bumi (I_T)

Setelah melewati atmosfer radiasi matahari akan diserap dan diteruskan dan sebagian lagi dipantulkan. dari pengaruh-pengaruh tersebut didapatkan besarnya intensitas matahari total yang diterima oleh permukaan bumi (I_T)

$$I_t = I_b \cdot R_b + \frac{I_d(1 + \cos\beta)}{2} + \frac{\rho[I_b + I_d(1 - \cos\beta)]}{2}$$

Dimana :

I_b adalah intensitas matahari langsung

I_d adalah intensitas matahari difuse

R_b adalah perbandingan sudut datang matahari (θ) dengan bidang horizontal (θ_z)

$$R_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z}$$

$$R_b = \frac{0,335783905}{0,33509363}$$

$$R_b = 1,002059947$$

ρ adalah pantulan dari tanah 0.2

β adalah sudut kemiringan kolektor terhadap bidang horizontal

Sehingga dapat dihitung I_t

$$I_t = I_b \cdot R_b + \frac{I_d (1 + \cos \beta)}{2} + \frac{\rho [I_b + I_d (1 - \cos \beta)]}{2}$$

$$I_t = 7952433,149 \times 1,002059947 + \frac{4929828,031 (1 + \cos 10)}{2}$$

$$+ \frac{0.2 \cdot [7952433,149 + 4929828,031 (1 - \cos 10)]}{2}$$

$$I_t = 9269784,85 J / m^2 s$$

4.3.8 Intensitas radiasi matahari yang diterima oleh pelat absorber kolektor (S)

Intensitas radiasi matahari yang diterima oleh plat absorber kolektor sangat dipengaruhi oleh besarnya transmisifitas dan absorpsivitas bahan untuk plat dan cover . Dengan data rancangan kolektor sebagai berikut :

1. Bahan cover adalah kaca transparan $\tau_g = 0.97$, $\rho_d = 0,03$
2. Bahan absorber adalah campuran aluminium komersial yang dicat hitam doft $\alpha_p = 0.95$

$$S = \tau_g \cdot \tau_r \cdot \alpha_p \cdot I_t$$

$$S = 0,97 \cdot 0,03 \cdot 0,95 \cdot 9269784,85$$

$$S = 63382,1066 J / m^2 s$$

4.4 Perencanaan Kolektor Pemanas Air

Sebelum melakukan perhitungan kolektor, perlu diketahui spesifikasi bahan komponen kolektor itu sendiri.

- Plat penyerap panas adalah seng dicat hitam buram, tebal 1 mm.
- Penutup transparan adalah kaca jenis ordinary clear lime glass, tebal 3 mm.
- Lapisan isolator adalah glass wool tebal 5 cm .
- Luas kolektor (A) = 0,75 m
- Jumlah kaca (N) = 1 buah
- Kemiringan kolektor (β) = 10° menghadap utara

4.4.1. Koefisien perpindahan panas radiasi dari kaca ke udara.

$$hr_{g-sky} = \sigma \epsilon_g (T_g + T_{sky}) \cdot (T_g^2 + T_{sky}^2)$$

$$hr_{g-sky} = 5.67 \times 10^{-8} \cdot 0.9(311 + 306) \cdot (311^2 + 306^2)$$

$$hr_{g-sky} = 5,993487227 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ K}$$

4.4.2 Perhitungan Tahanan Thermal Pada Kaca ke Udara.

$$R_1 = \frac{1}{hr_{g-sky}}$$

$$R_1 = \frac{1}{5,993487227}$$

$$R_1 = 0.166847773 \text{ m}^2 \text{ K} / \text{W}$$

4.4.3. Koefisien perpindahan panas radiasi dari plat ke kaca.

$$hr_{p-g} = \sigma \frac{(T_p^2 + T_g^2)(T_p + T_g)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_g} - 1}$$

$$hr_{p-g} = 5.67 \times 10^{-8} \frac{(355^2 + 311^2)(355 + 311)}{\frac{1}{0.98} + \frac{1}{0.9} - 1}$$

$$hr_{p-g} = 7,433703689 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ K}$$

4.4.4. Perhitungan Tahanan Thermal Pada Plat ke Kaca.

$$R_2 = \frac{1}{hr_{p-g}}$$

$$R_2 = \frac{1}{7,433703689}$$

$$R_2 = 0,134522445 \text{ m}^2 \text{ K} / \text{W}$$

4.4.5. Perhitungan Koefisien Kehilangan Perpindahan Panas Total Pada Kolektor Surya.

Koefisien kehilangan perpindahan panas total, U_L adalah penjumlahan koefisien perpindahan panas radiasi dari kaca ke udara (R_1) dan koefisien perpindahan panas radiasi dari plat atas ke kaca (R_2) dengan persamaan :

$$U_L = \frac{1}{R_1 + R_2}$$

$$U_L = \frac{1}{0.166847773 + 0.134522445}$$

$$U_L = 3,31817791 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ \text{K}$$

4.5. Perhitungan Energi Berguna (Qu).

Dengan didapatnya hasil dari perhitungan koefisien kehilangan perpindahan panas total (U_L) diatas dapat diketahui energi berguna yang dihasilkan kolektor yaitu sebesar :

$$Q_u = A_g [S - U_L (T_{pm} - T_a)]$$

$$Q_u = 0,75 \cdot [63382,1066 - 3,31817791 \cdot (355 - 306)]$$

$$Q_u = 47414,63691 \text{ J} / \text{m}^2 \text{ s}$$

4.5.1 Perhitungan Daya yang Diserap Oleh Kolektor Surya.

Besar daya yang diserap oleh kolektor surya dapat dihitung dengan persamaan :

$$Q = Q_u \cdot A_g$$

$$= 47414,63691 \cdot 0,75$$

$$= 35560, 97768 \text{ W}$$

4.6. Perhitungan Panjang Pipa.

Besar panas yang dibutuhkan untuk memanaskan air sama dengan besar panas input yang masuk kolektor sehingga $q = Q_u$.

$$Q_u = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_o - T_i)}{\pi D L}$$

Kapasitas pompa yang tersedia, 1000

$$L/h = 0,00027 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

$$v = \frac{4 \cdot 0,00027}{\pi \cdot 0,015^2}$$

$$v = 1,53 \text{ m/s}$$

maka besar laju aliran massa

$$\dot{m} = \rho v \frac{\pi D^2}{4}$$

$$= 996,1,53 \frac{\pi \cdot 0,015^2}{4}$$

$$= 0,3 \text{ kg/s}$$

- Pehitungan panjang pipa

$$Q_u = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_o - T_i)}{\pi D L}$$

$$47414,63691 = \frac{0,3 \cdot 4178 \cdot (35 - 27)}{\pi \cdot 0,015 \cdot L}$$

$$L = 4,49 \text{ m}$$

4.7 Tabel Komponen Kolektor Surya.

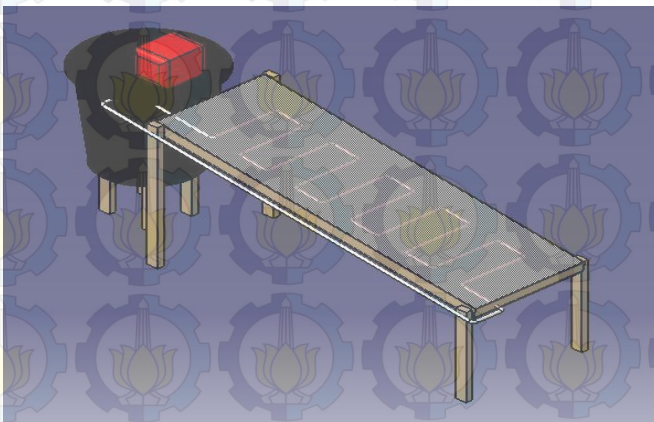
No.	Komponen Kolektor Surya	Bahan	Keterangan
1	Cover Penutup (kaca penutup)	Ordinary Clear Lime Glass, Tebal 3mm $A_g = 0,75 \text{ m}$	Emissivity, $\varepsilon_g = 0,9$ $\tau_g = 0.97$, $\rho_d = 0,03$
2	Pipa	Tembaga, $\phi = 5/8"$, $\phi_d = 15 \text{ mm}$ $L = 4,49 \text{ m}$	Thermal Conductivity , $k = 401 \text{ W/m.K}$
3	Absorber	Seng Warna Hitam Buram (Doft)	Absorbsivitas, $\alpha_p = 0.95$

4.1 Tabel Komponen Kolektor Surya

Dalam rancang bangun ini pipa kolektor terbuat dari bahan tembaga dikarenakan nilai konduktivitas panas tembaga sangat tinggi dibandingkan bahan yang lain, yaitu sebesar $k = 401 \text{ W/m.K}$.

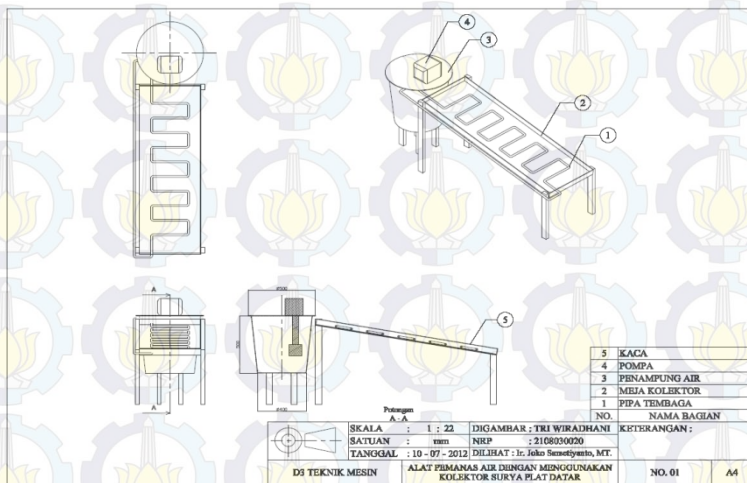
4.8 Gambar Rancang Bangun Alat Pemanas Air Kolektor Surya Plat Datar.

4.8.1. Gambar Tiga Dimensi (3D).

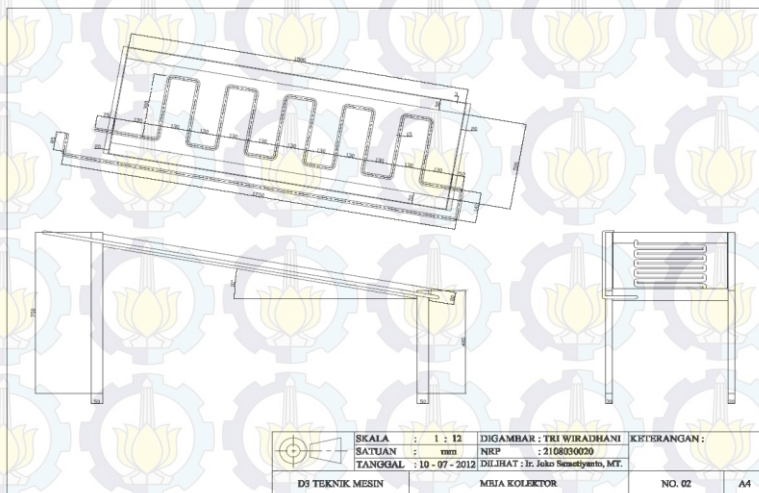


Gambar 4.1 Gambar 3D Alat Pemanas Air Dengan Menggunakan Kolektor Surya Plat Datar

4.8.2 Gambar Dua Dimensi (2D).



Gambar 4.2 Gambar 2D Alat Pemanas Air Dengan Menggunakan Kolektor Surya Plat Datar



Gambar 4.3 Gambar 2D Meja Kolektor Pemanas Air

4.8.3. Keterangan gambar.

- 1) Dimensi Kolektor.
 - a.) Panjang Kolektor = 1540 mm
 - b.) Lebar Kolektor = 600 mm
 - c.) Tinggi Kolektor = 80 mm
 - d.) Sudut kolektor = 10°
- 2) Pipa Kolektor.
 - a.) Diameter Pipa = 5/8" (15,7 mm)
 - b.) Diameter dalam Pipa = 15 mm
 - c.) Ketebalan pipa = 0,7 mm
- 3) Dimensi Kaca Kolektor.
 - a.) Panjang kaca = 1500 mm
 - b.) Lebar kaca = 500 mm
 - c.) Ketebalan kaca = 3 mm
- 4) Dimensi Absorber (Seng).
 - a.) Panjang absorber = 1500 mm
 - b.) Lebar absorber = 500 mm
 - c.) Ketebalan absorber = 1 mm
- 5) Jarak antara kaca dengan absorber = 2 cm
- 6) Isolator Kolektor (Glasswool) = 5 cm

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan tentang “Rancang Bangun Pemanas Air Menggunakan kolektor Surya Plat Datar” yang telah diuraikan maka dapat disimpulkan beberapa hal terkait sebagai berikut:

1. Alat ini dikatakan efektif karena kolektor dengan tujuan untuk menyerap radiasi dari sinar matahari. Semakin luas kolektor maka semakin banyak juga radiasi sinar matahari yang ditangkap, sehingga temperatur air yang melewatinya semakin meningkat. Kolektor diletakkan di dalam kotak dengan penutup kaca transparan dengan tujuan untuk menghindari atau mengurangi kehilangan kalor dari kolektor ke lingkungan. Selain itu didalam kolektor terdapat pipa yang dibentuk U-Tube agar panas yang diserap oleh air semakin banyak sehingga temperatur air semakin meningkat. Kemudian alat ini dikatakan efisien karena dapat memanaskan air yang disebabkan oleh radiasi dari sinar matahari. Dengan kata lain alat ini menggunakan sumber energi dari sinar matahari yang tentunya relatif lebih murah daripada pemanas air yang menggunakan gas atau listrik sebagai sumber energi. Kelebihan dari sinar matahari ini antara lain: tidak bersifat polutif, berlimpah, bersifat terbarukan (*renewable*), dapat dimanfaatkan baik secara langsung maupun tidak langsung dan merupakan energi sepanjang masa.
2. Panjang pipa tembaga yang dibutuhkan untuk memanaskan air dengan temperatur awal 27 °C menjadi 35 °C adalah 4,49 m

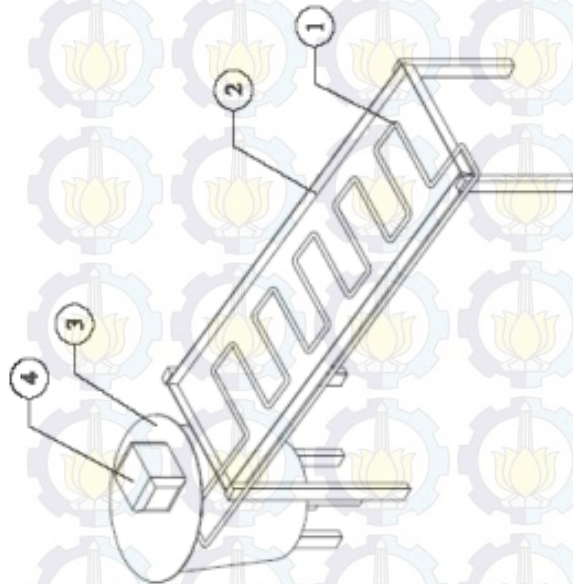
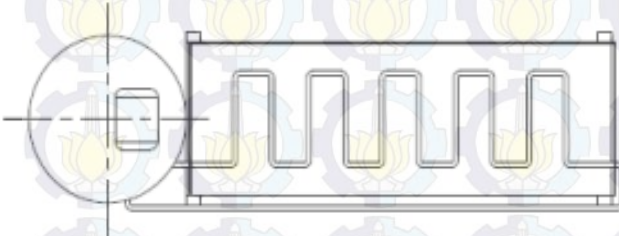
3. Temperatur yang direkomendasikan untuk mandi keluarga menurut (jurnal PDGI.2009) adalah berkisar antara temperatur 32-35°C. Temperatur ini diharapkan dapat membantu mengeluarkan toksin atau racun yang mengendap di dalam tubuh. Berdasarkan rujukan di atas temperatur air yang dipanaskan dengan menggunakan alat pemanas air ini telah memenuhi syarat untuk kebutuhan mandi air hangat keluarga.

5.2 Saran

1. Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengetahui unjuk kerja pada sudut kemiringan kolektor surya sebesar 30°, hal ini dikarenakan sebagaimana fungsinya kolektor surya yang diletakkan pada atap rumah.
2. Agar memperoleh panas yang lebih tinggi pada penelitian selanjutnya diharapkan menambahkan fin/sirip yang diletakkan pada plat kolektor surya.
3. Dapat dikembangkan komposisi – komposisi lain dari penelitian ini hingga mendapatkan sifat yang diinginkan.
4. Meminimalkan keberadaan rongga udara (void) pada kolektor sehingga dapat menaikkan efisiensi alat pemanas air.
5. Lebih disempurnakan lagi agar dapat digunakan langsung ke masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

1. Incropera and David P. Dewitt .1996. *Fundamental Of Heat And Mass Transfer*. Sixth Edition
2. Foster, Robert. 1962. *Solar Energy*. Renewable Energy and the Environment, Taylor & Francis. New York
3. Kalogirou, Soteris A. 2009. *Solar Energy Engineering*. Procces and System. San Diego



5	KACA
4	POMPA
3	PENAMPUNG AIR
2	MEJA KOLEKTOR
1	PIPA TEBAGA
NO.	NAMA BAGIAN

	SKALA : 1 : 22	DIGAMBAR : TRI WIRADHANI	KETERANGAN :
	SATUAN : mm	NRP : 2108030020	
	TANGGAL : 10 - 07 - 2012	DILIHAT : Ir. Joko Sametiyanto, MT.	
D3 TEKNIK MESIN		ALAT PIMANAS AIR DENGAN MENGGUNAKAN KOLEKTOR SURYA PLAT DATAR	NO. 01
			A4

BIODATA PENULIS



Penulis dibesarkan dan dilahirkan di Kota Surabaya pada tanggal 06 April tahun 1990. Penulis merupakan anak ketiga dari 4 bersaudara. Penulis bertempat tinggal di Kota Surabaya tepatnya di jalan Samlangyu no.20 Komplek Kenjeran Kecamatan Bulak 60121.

Penulis memulai pendidikannya pada umur 3 tahun di TK Al-Muttaqien, kemudian pada umur 5 tahun di SD Hang Tuah VI Surabaya, selanjutnya pada umur 11 tahun di SMP Negeri 18 Surabaya dan pada umur 14 tahun di SMA Negeri 19 Surabaya,

kemudian pada umur 18 tahun di D3 Teknik Mesin FTI-ITS. Penulis memiliki hobi berolahraga. Penulis banyak mengikuti beberapa pelatihan misalnya LKMM Pra TD VI FTI-ITS, LKMM TD HMDM 2009 FTI-ITS, LATT HMDM 2010 FTI-ITS, TFT HMDM 2011 FTI-ITS. Penulis mengerjakan tugas akhir ini selama kurang lebih 5 bulan pada semester 8 selama pendidikannya di

D3 Teknik Mesin FTI-ITS. Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat untuk kedepannya bagi internal civitas D3 Teknik Mesin pada khususnya dan masyarakat pada umumnya.